

THESE de DOCTORAT de l'UNIVERSITE PARIS 6

Spécialité:
Entomologie médicale

présentée par

Vincent ROBERT

pour obtenir le titre de DOCTEUR DE L'UNIVERSITE PARIS 6

Sujet de la thèse:

**LA TRANSMISSION DU PALUDISME HUMAIN:
la zone des savanes d'Afrique de l'Ouest**

soutenue le 20 Février 1989

devant le jury composé de:

Monsieur Marc GENTILINI
Madame Jeannette RACCAUD-SCHOELLER
Monsieur Jean COZ
Monsieur Jean MOUCHET
Monsieur Pierre CARNEVALE

Président
Rapporteur
Rapporteur
Examineur
Examineur

φ52 ANOPAL φ3
R.O.B



F 26.165

Je suis presque aveugle et mort d'épuisement... mais triomphant! Le miracle s'est enfin produit.

Evidement, c'est dans le sang de l'insecte que les bâtonnets [sporozoïtes] se répandent. En examinant séparément le thorax et l'abdomen de mes moustiques, je me suis aperçu qu'ils étaient *plus nombreux dans le thorax que dans l'abdomen* et parfois plus nombreux encore *dans la tête*. Aussitôt, j'ai coupé tous mes moustiques en trois -tête, thorax, abdomen- et qu'ai-je vu? En arrachant une tête d'un thorax, quelque chose d'extrêmement délicat est tombé de l'ouverture, du côté du cerveau. C'était une sorte de glande vermiforme, traversée par un tube d'air. Tous mes bâtonnets se pressaient là. Les cellules de ces glandes grouillaient littéralement de bâtonnets.

Que sont ces glandes? Après plusieurs têtes disséquées fébrilement, je me suis aperçu que le tube qui les traversait conduisait directement dans l'aiguillon. Autrement dit, en un mot comme en cent, ce sont des *glandes salivaires*.

Le paludisme est transmis d'une personne ou d'un oiseau malade à un sujet sain par l'espèce appropriée de moustique *qui l'inocule en le piquant*.

Ronald R. Ross, Calcutta, 4 juillet 1898.

“Le plaisir du chercheur: retrousser les jupes de la nature.”

Jean Rostand - Carnet d'un biologiste, 1959.

AVANT-PROPOS

La presque totalité des travaux présentés dans cette thèse a été réalisée dans le cadre de l'Antenne ORSTOM du Centre Muraz, à Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, entre octobre 1982 et juin 1987.

Les observations effectuées pendant ces recherches et les réflexions qui en découlent sont le fruit d'une collaboration étroite entre des équipes très diversifiées. C'est dire à quel point il serait vain de vouloir attribuer à chacun des coauteurs des articles présentés dans la deuxième partie de cette thèse la part qui lui revient dans l'élaboration de ce travail. La rencontre de nombreuses personnalités dont la plupart sont devenues des amis, est la responsable de cet aboutissement provisoire.

Il m'est agréable de pouvoir m'adresser ici aux personnes principalement concernées par ce travail:

- Monsieur le professeur Marc GENTILINI m'a fait l'honneur de présider le jury de cette thèse et m'a toujours réservé un accueil de qualité auquel j'ai été particulièrement sensible.
- Madame le professeur Jeannette RACAUD-SCHOELLER qui fut une de mes enseignantes en certificat de licence, a accepté d'examiner ce travail et m'a fait bénéficier de son expérience et de ses conseils; je l'en remercie.
- Jean MOUCHET m'a donné sans compter; il a toujours répondu présent à toutes mes sollicitations pour corriger de nombreux textes de cette thèse; les recherches sur le paludisme conduites à l'ORSTOM depuis de nombreuses années ont particulièrement bénéficié de ses réflexions et de ses directives pour la conception des programmes.
- Jean COZ a bien voulu diriger ce travail malgré ses prenantes occupations au sein de l'ORSTOM et ses activités de recherches à Bondy. Sa disponibilité et sa grande connaissance de l'entomologie du paludisme m'ont été des plus utiles.
- Pierre CARNEVALE est la personne qui a le plus influencé le travail présenté ici. Je lui sais gré d'avoir construit une équipe de recherche (à laquelle j'appartiens), de m'avoir donné les moyens de travailler tout en me laissant la plus grande liberté pour mener mes recherches: c'est ainsi que j'ai pu poursuivre à temps partiel une activité de recherche sur l'écologie d'arbovirus, domaine que j'avais abordé avant de m'occuper de malariologie et qui me tenait à cœur. Son dynamisme, ses compétences, son sens de la représentation m'ont beaucoup appris; la confiance qu'il m'a manifesté m'a beaucoup apporté.
- Mes chers collègues de l'ORSTOM qui formaient le noyau permanent de notre équipe bobolaise: Pierre GAZIN, Michel COT, Christian BOUDIN, Frédéric DARRIET et mes chers collègues burkinabés: Vincent OUÉDRAOGO, Claude OUÉDRAOGO, Ouari BAKARY, OUATARA Zoumana, Jean-Pierre KIENOU, BARRO Balaji, Louis SANOU, David DABRÉ,

PALENFO Baouamana, Patrice HIEN, Alain SANOU, SANOU Mamourou, Ousséni GNIENHOUN, SANOU Souleymane, Augustin BICABA, KABORÉ Hamadou, KOURAOGO Tibo, ZOUNGRANA Sougrinoma, Pierre KIENOU, KAMBOU Sansan, Adiadion DEFAGA, ZOURÉ Moumouni.

- Dominique BAUDON, Jean-François MOLEZ, Doris BONNET, Robert GUIGUEMDÉ, Josy LYANNAS, Olivier BRANDICOURT, Jean-Michel HALNA, Lionel PAZART, Albert ZOULANI, Michel BOUSSINESQ, Hervé CONAN, Jean-François TRAPE, Martin AKOGBETO, Jean-Philippe CHIPPAUX, François PEYRON, Louti DIOMANDÉ, Marie-France BOSSENSO, Léone OVAZZA, Jean-Paul HERVY, Fabrice LEGROS, Paul SCHOLTENS et Léoni LOUWÉ. Ils ont contribué, à différents niveaux et parfois de façon déterminante, aux travaux de recherche en paludologie menés au Centre Muraz.

- Max GERMAIN a pris le risque de me parrainer en Entomologie médicale et à l'ORSTOM; la fidèle attention bienveillante qu'il n'a cessé de m'accorder constitue pour moi un cadeau précieux.

- Mes maîtres des Pays-Bas, Thivi PONNUDURAI, Jan Peter VERHAVE et Joseph MEUWISSEN, dont la collaboration n'a cessé d'être parfaite en tous points.

- Mes maîtres d'Italie, Mario COLUZZI et Vincenzo PETRARCA, m'ont introduit dans le cercle de la génétique des populations anophéliennes.

- Jean ROUX qui a été trop brièvement mon directeur au Centre Muraz.

- Josué FEINGOLD qui sait être accessible et qui a revu plusieurs articles proposés ici.

- Alain RICHARD dont les compétences en analyse de données ont été largement mises à contribution, Philippe DESENFANT pour l'assistance qu'il m'a procuré sur micro-ordinateur, et Marinette TEPPAZ pour une multitude de services.

- Les services de documentation et de l'imprimerie du Centre ORSTOM de Bondy.

- Les Burkinabés, en particulier les habitants de la région de Bobo-Dioulasso, avec lesquels nous avons le plus travaillé, exemplaires par leur serviabilité et leur gentillesse; c'est tout naturellement à eux que ce travail est dédié.

- Ma mère, mon père, mes sœurs, Badie, GM, mes neveux et nièces, les "sow moro", Dominique.

**La transmission du paludisme humain:
la zone des savanes d'Afrique de l'Ouest**

SOMMAIRE

Résumé

Summary

PREMIERE PARTIE: NOTE DE PRESENTATION

Introduction

1. Les relations vecteurs-parasites

1.1. Anophèles

1.1.1. Techniques modernes de détermination spécifique des vecteurs

1.1.2. Complexe *Anopheles gambiae*

1.1.3. *Anopheles funestus*

1.1.4. Vecteurs secondaires

1.2. *Plasmodium*

1.2.1. Des gamétocytes aux sporozoïtes

1.2.2. Hétérogénéité des isolats plasmodiaux

1.2.3. Techniques modernes d'identification du parasite dans le moustique

1.3. Inter-relations *Anopheles-Plasmodium*

1.3.1. Pathogénicité du parasite pour le vecteur

1.3.2. Infectivité du parasite pour le vecteur

1.3.3. Influence du parasite sur le comportement du vecteur

1.3.4. Rôle des vecteurs dans les résistances médicamenteuses du parasite

2. La transmission, un paramètre épidémiologique majeur

2.1. Mesure de la transmission

2.1.1. En zone endémique

2.1.2. En zone à transmission inhabituelle

2.2. Transmission dans différentes zones d'Afrique intertropicale

2.2.1. En forêt

2.2.2. En savane

2.2.3. Au sahel

2.2.4. En rizière

2.2.5. En milieu urbain

2.3. Transmission et strate éco-épidémiologique

3. La transmission, cible de la lutte contre le paludisme

3.1. Moustiquaires imprégnées de pyrèthrynoïde

3.2. Protection contre les anophèles

3.3. Vaccin anti-transmission

Conclusion

Références bibliographiques

DEUXIEME PARTIE: SELECTION DE PUBLICATIONS

1. Vecteurs de la zone des savanes ouest-africaines

- 1.1. Robert V. & Carnevale P. - Les vecteurs des paludismes en Afrique subsaharienne. *Etudes médicales*, juin 1984, n° 2: 79-90.
- 1.2. Robert V., Petrarca V., Carnevale P., Zoulani A. & Coluzzi M. - Analyse cytogénétique du complexe *Anopheles gambiae* dans un village du sud-est du Burkina Faso. A paraître.
- 1.3. Robert V., Petrarca V., Carnevale P., Ovazza L. & Coluzzi M. - Analyse cytogénétique du complexe *Anopheles gambiae* dans la région de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. *Ann. Parasito. hum. comp*, 1989. A paraître.
- 1.4. Robert V., Petrarca V., Carnevale P. & Coluzzi M. - Le paludisme urbain à Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. 4. Etude chromosomique du complexe *Anopheles gambiae*. A paraître.
- 1.5. Robert V., Ouari B., Ouédraogo V. & Carnevale P. - La succession des espèces anophéliennes et le cycle du riz; étude écologique des *Culicidae* adultes et larvaires dans la rizière de la Vallée du Kou, Burkina Faso. *Acta tropica*, 1988, 45: 351-359.

2. Relations vecteurs-parasites

- 2.1. Robert V., Verhave J.-P., Ponnudurai T., Louwé L., Scholtens P. & Carnevale P. - Study of the distribution of circumsporozoite antigen in *Anopheles gambiae* infected with *Plasmodium falciparum*, using the enzyme-linked immunosorbent assay. *Trans. R. Soc. trop. Med. Hyg.*, 1988, 82: 389-391.
- 2.2. Boudin C., Robert V., Verhave J.P., Carnevale P. & Meuwissen J.H.E.T. - Utilisation de la technique ELISA dans le dépistage des moustiques infectés par *Plasmodium falciparum*. *Bull. Org. mond. Santé*, 1988, 66: 87-97.
- 2.3. Robert V., Boussinesq M., Boudin C., Conan H., Darriet F. & Carnevale P. - Réceptivité à *Plasmodium falciparum* d'*Anopheles gambiae* soumis à *Bacillus thuringiensis* sérotype H 14 ou à *Bacillus sphaericus*. *Cah. ORSTOM Sér. Ent. méd. Parasitol.*, 1987, 25: 63-68.

3. Approche quantitative de la transmission

- 3.1. Robert V., Gazin P., Boudin C., Molez J.-F., Ouédraogo V. & Carnevale P. - La transmission du paludisme en zone de savane arborée et en zone rizicole des environs de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, 1985, 65, Suppl.2: 201-214.
- 3.2. Robert V., Carnevale P., Ouédraogo V., Petrarca V. & Coluzzi M. - La transmission du paludisme humain dans un village de savane du sud-ouest du Burkina Faso. *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, 1988, 68 (2), 107-121.
- 3.3. Robert V., Gazin P., Ouédraogo V. & Carnevale P. - Le paludisme urbain à Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. 1. Etude entomologique de la transmission. *Cah. ORSTOM, Sér. Ent. méd. Parasitol.*, 1986, 24: 121-128.
- 3.4. Robert V., Ouédraogo V. & Carnevale P. - La transmission du paludisme humain dans un village au centre de la rizière de la Vallée du Kou, Burkina Faso. A paraître.
- 3.5. Robert V., Petrarca V., Coluzzi M., Boudin C. & Carnevale P. - Etude sur les taux d'infection du complexe *Anopheles gambiae* dans la rizière de la Vallée du Kou, Burkina Faso. A paraître.
- 3.6. Robert V., Gazin P. & Carnevale P. - Malaria transmission in three sites surrounding the area of Bobo-Dioulasso, Burkina Faso: the savanna, a rice field, and the city. *Bull. Soc. Vector Ecol.*, 1987, 12: 541-543.
- 3.7. Robert V., Gazin P. & Carnevale P. - De la difficulté de prévoir les répercussions sanitaires des aménagements hydroagricoles; le cas du paludisme dans la rizière de la Vallée du Kou au Burkina Faso. Ouvrage de synthèse. *Le risque en agriculture*, 1989, ORSTOM éd., Paris, à paraître.
- 3.8. Gazin P., Robert V., Cot M. & Carnevale P. - *Plasmodium falciparum* incidence and patency in a high seasonal transmission area of Burkina Faso. *Trans. R. Soc. trop. Med. Hyg.*, 1988, 82: 50-55.
- 3.9. Gazin P., Robert V., Akogbeto M. & Carnevale P. - Réflexions sur les risques d'infection palustre selon la densité et l'infectivité anophéliennes. *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, 1985, 65: 263-269.

4. Réduire la transmission

- 4.1. Darriet F., Robert V., Tho Vien N. & Carnevale P. - Evaluation de l'efficacité sur les vecteurs du paludisme de la perméthrine en imprégnation sur des moustiquaires intactes et trouées. Organisation mondiale de la Santé, Genève, 1984, WHO/VBC/84.899 ou WHO/MAL/84.1008.
- 4.2. Carnevale P., Robert V., Boudin C., Halna J.-M., Pazart L., Gazin P., Richard A. & Mouchet J. - La lutte contre le paludisme par des moustiquaires imprégnées de pyréthrynoïdes au Burkina Faso. *Bull. Soc. Path. exot.*, 1988, sous presse.
- 4.3. Robert V., Diomandé L. & Carnevale P. - Influence de la deltaméthrine en imprégnation de moustiquaires trouées sur le contact homme-moustiques et sur la mortalité des moustiques. A paraître.
- 4.4. Robert V., Carnevale P. & Mouchet J. - Pyrethroid impregnated bed nets in the malaria control strategy at community level. *Acta tropica*, sous presse.
- 4.5. Diomandé L., Robert V. & Carnevale P. - Evaluation sur homme et sur moustiquaire de l'activité d'un savon contenant un répulsif et un pyréthrynoïde. A paraître.
- 4.6. Robert V., Hervy J.-P., Baudon D., Roux J., Legros F. & Carnevale P. - Influence de deux stratégies médicamenteuses par chloroquine (prophylaxie et thérapie des accès fébriles) sur la transmission du paludisme. *Bull. Soc. Path. exot.*, 1989. A paraître.
- 4.7. Robert V., Richard A. & Mouchet J. - Les résidants non immuns face au paludisme. *ORSTOM Actualités*, 1988, 21: 4-5.

Résumé

Les vecteurs de la zone des savanes Ouest-africaine

La transmission du paludisme humain dans la zone des savanes d'Afrique de l'Ouest est effectuée essentiellement par *Anopheles gambiae* et *A. funestus*. Deux espèces, *A. arabiensis* et *A. nili* ont un rôle vecteur secondaire. D'autres espèces d'anophèles ont été trouvées infectées mais jouent un rôle négligeable par rapport aux espèces précédentes.

L'analyse cytogénétique du complexe *A. gambiae* confirme que la région et la ville de Bobo-Dioulasso (Burkina Faso) sont des zones de sympatrie entre *A. gambiae* et *A. arabiensis*. Sur près de 5000 déterminations effectuées dans cette région, un seul hybride entre ces deux espèces a été observé, confirmant le bien fondé du statut spécifique de chacun de ces deux taxons. *A. gambiae* représente environ 90% des effectifs de la fraction endophile diurne du complexe; *A. arabiensis* en représente 10%.

Sur le plan cytogénétique ces deux espèces présentent un important polymorphisme. *A. arabiensis* possède toutes les caractéristiques d'une espèce au sein de laquelle les croisements sont aléatoires. Par contre l'espèce *A. gambiae*, au moins sur l'ensemble du Burkina Faso, est composée de deux populations partiellement isolées sur le plan reproductif; chaque population correspond à une forme chromosomique. La forme "Mopti" est caractérisée par les arrangements 2R bc et 2R u ; la forme "Savane" par 2R b et dans une moindre mesure par 2R d . Presque tous les individus (96%) de l'espèce *A. gambiae* appartiennent à l'une de ces deux formes chromosomiques. Les autres (4%) peuvent être interprétés comme des hybrides ou recombinants entre ces deux formes; quelques cas restent non classés.

Les deux formes chromosomiques d'*A. gambiae* coexistent dans presque toutes les localités prospectées au Burkina Faso. Toutefois dans la zone sahélienne la forme Mopti est pratiquement la seule présente.

Dans la zone méridionale du Burkina Faso la forme Savane prend l'avantage sur la forme Mopti là où les gîtes sont temporaires et limités à la saison pluvieuse; la forme Mopti domine dans les localités à gîtes larvaires productifs toute l'année. C'est probablement pour ces raisons que:

- dans la ville de Bobo-Dioulasso la forme Savane représente 70% de l'espèce,
- dans la rizière de la Vallée du Kou (à 30 km au Nord de Bobo-Dioulasso), pratiquement inondée toute l'année, la forme Mopti est la seule présente.

Cette rizière constitue un milieu très favorable au développement de nombreuses espèces culicidiennes; la production de ces espèces est contrôlée surtout par la riziculture mais aussi par la saison. Les trois espèces d'anophèle principalement dépendantes du cycle de la riziculture sont aussi les plus fréquentes; ce sont *A. gambiae s.l.*, *A. pharoensis* et *A. coustani*. Les maxima de densité de ces espèces se succèdent avec une chronologie précise. *A. gambiae* exploite la rizière dès sa mise en

eau et pendant le repiquage des jeunes pousses de riz jusqu'à ce que la croissance de ces dernières fassent obstacle à l'ensoleillement des gîtes larvaires; il représente à lui seul 39% des larves et 53% des imagos collectés. *A. pharoensis* exploite la rizière à la fin de la montaison et pendant l'épiaison du riz. *A. coustani* exploite la rizière pendant une brève période lorsque le riz est à maturité et durant la récolte. D'autres espèces ne semblent pas liées au cycle du riz mais sont dépendantes des saisons. C'est le cas d'*A. funestus* qui apparaît nettement désavantagé dans cette rizière puisqu'il ne représente que 1% des imagos collectés et qu'il n'a pas été rencontré aux stades larvaires.

Les relations vecteurs-parasites

La technique ELISA de détection et de quantification de l'antigène circumsporozoïtique a été testée et a été comparée à la technique classique pour la détermination de l'indice sporozoïtique des populations sauvages de vecteurs. L'ELISA est:

- reproductible moyennant un étalonnage des plaques de titration entre elles,
- plus sensible que la méthode classique de dissection des glandes salivaires avec recherche microscopique de sporozoïtes,
- spécifique si le test ne porte que sur l'ensemble tête-thorax et si un deuxième test est effectué avec les moustiques faiblement positifs,
- peu contraignante puisqu'on peut travailler avec du matériel biologique congelé ou desséché et conservé plusieurs mois.

La rencontre de quelques moustiques infectés avec un thorax positif en ELISA et sans sporozoïtes ni antigène sporozoïtique dans les glandes salivaires pose un problème pour la détermination en routine de l'indice sporozoïtique par cette technique.

La répartition de l'antigène circumsporozoïtique dans les diverses parties d'un moustique infecté présente une grande variabilité. Il est possible d'en rencontrer dans toutes les parties (y compris dans les pattes!) suggérant qu'il n'existe pas de voie préférentielle de cheminement des sporozoïtes depuis l'oocyste mûr jusqu'aux glandes salivaires. Ces dernières sont la partie de moustique qui possèdent la plus grande attractivité pour l'antigène circumsporozoïtique.

La spécificité d'espèce plasmodiale de cette technique a permis d'identifier *A. gambiae* et *A. funestus* comme vecteurs de *Plasmodium malariae* dans la région de Bobo-Dioulasso.

Divers agents comme les bactéries peuvent modifier les relations entre les vecteurs et les *Plasmodium*. Ainsi les larves d'*A. gambiae* traitées avec une dose sub létale de *Bacillus thuringiensis* sérotype H₁₄ se transforment en adultes dont la réceptivité à *P. falciparum* est réduite de 10% à 15%. Par contre *B. sphaericus* n'induit pas une telle modification.

L'approche quantitative de la transmission

En savane arborée les vecteurs sont rencontrés toute l'année avec des variations saisonnières importantes. *A. gambiae* a une densité maximum au milieu de la saison des pluies (août); ce maximum précède de deux mois celui d'*A. funestus*. L'indice sporozoïtique d'*A. gambiae* est supérieur à celui d'*A. funestus*; ceci concourt, avec une densité supérieure, à lui conférer la première place dans la transmission du paludisme. Mais *A. funestus* transmet pendant une période plus longue qu'*A. gambiae*, notamment en saison sèche.

Il est possible qu'une transmission, très faible en saison sèche, perdure pendant toute l'année au moins dans les localités où *A. funestus* peut se maintenir toute l'année.

La quantité de transmission, estimée par le taux annuel d'inoculation (= nombre de piqûres d'anophèles infectés par homme adulte et par an), varie entre 50 et 250 dans les différents villages étudiés.

Les variations de l'intensité de la transmission sont étroitement liées avec les variations des paramètres parasitologiques.

En zone rizicole de la Vallée du Kou où l'irrigation est sub-permanente, un homme dormant sans protection particulière contre les moustiques recevrait 35 000 piqûres par an. En fait l'usage des moustiquaires est généralisé mais leur efficacité est très moyenne puisque un *A. gambiae* sur deux réussit à se gorger de sang humain.

A. gambiae représente 66% des moustiques agressifs pour l'homme. Cette espèce est l'unique vecteur rencontré en abondance pendant toute l'année. Son taux de parturité est faible (30% en moyenne), d'autant plus que sa densité est élevée. Son indice sporozoïtique est faible (0,28% en moyenne) si bien que malgré des densités considérables, la transmission est relativement faible. Le taux d'inoculation dans le village du centre de la rizière est de 20. La transmission suit un rythme bimodal, de mai à juillet et d'octobre à décembre; elle est observée en dehors de la période de densité maximale de l'espèce vectrice.

En zone urbaine les anophèles ne représentent que 6,5% des moustiques agressifs pour l'homme dans la ville de Bobo-Dioulasso. *A. gambiae* représente 95% des anophèles agressifs pour l'homme. Sa densité n'est notable que d'août à octobre; elle est faible au centre ville et nettement plus importante dans les quartiers périphériques où l'urbanisation est moins importante.

La transmission urbaine est un fait: dans les quartiers centraux le taux annuel d'inoculation est inférieur à un (sa plus faible valeur calculée dans un quartier est de 0,14 soit une piqûre infectée en 7 ans); dans les quartiers périphériques il est de l'ordre de 5.

Dans les milieux rizières et urbains, fortement modifiés par l'activité humaine, les modalités et l'intensité de la transmission sont très différentes de ce qui est observé dans la savane traditionnelle qui peut être considérée comme la base de référence pour estimer l'ampleur des bouleversements épidémiologiques survenus. Ces bouleversements sont récents.

La réduction de la transmission

La prophylaxie collective pour les enfants et adolescents d'une part et la thérapie des accès fébriles pour toute la population d'autre part, toutes deux effectuées avec de la chloroquine, réduisent la prévalence gamétocytaire des enfants. Elles entraînent ainsi une réduction du réservoir infectant pour les vecteurs et une tendance à la baisse d'infectivité des anophèles, donc une baisse de la transmission. Cette tendance est toutefois trop faible pour présenter une portée pratique dans une optique de lutte.

Les moustiquaires imprégnées de pyréthrinoïdes constituent un nouvel outil efficace pour se protéger contre les piqûres de moustiques. L'imprégnation renforce la protection du dormeur grâce à une barrière chimique qui pallie une barrière physique souvent déficiente (mauvais état ou mauvais usage de la moustiquaire simple). La moustiquaire imprégnée fonctionne comme un piège hautement attractif pour les moustiques car appâté par l'homme. Ce système est très peu polluant et il est sélectif à l'encontre des seuls insectes qui peuvent être en contact avec la moustiquaire; il agit préventivement avant la piqûre des moustiques. Une imprégnation est efficace pendant au moins un an sans lavage.

Les moustiquaires imprégnées constituent aussi une nouvelle arme de lutte contre les vecteurs quand elles sont utilisées par l'ensemble de la collectivité. Dans une telle optique la dose de pyréthrinoïde ne doit pas être excessive sinon un effet répulsif se manifeste au détriment de l'effet insecticide recherché.

Une expérimentation à l'échelle d'un village a été menée en distribuant des moustiquaires imprégnées de deltaméthrine à toute la population. La réduction de la densité de vecteur était de 40%, la réduction des taux de parturité de 30% à 40% selon les espèces, la réduction des indices sporozoïtiques de 70% à 90% selon les espèces. Au total la réduction de la transmission était supérieure à 90%. Aucune modification de l'indice plasmodique n'a été enregistrée mais la charge parasitaire moyenne a significativement diminué. L'incidence pathologique de la maladie, basée sur le nombre d'accès confirmés parasitologiquement, a diminué de 59%.

La lutte contre le paludisme est particulièrement difficile. Des moyens tels que la pulvérisation intra-domiciliaire et les moustiquaires imprégnées d'insecticides existent; ils sont efficaces et aucun obstacle technique ne s'oppose à leur utilisation pour réduire grandement la transmission.

En zone urbaine, où la transmission est faible, la prévention des piqûres de moustiques doit devenir la base de la prophylaxie du paludisme, en particulier dans les zones où les souches plasmodiales résistent à la chloroquine.

Le paludisme est une composante de l'environnement de l'Afrique intertropicale. Les méthodes de lutte doivent prendre en compte cette donnée fondamentale. Une stratégie de lutte efficace et réaliste doit intégrer de nombreux facteurs relevant de la technique, de l'économie, de la politique, de l'éthique et des sciences de l'homme.

THE TRANSMISSION OF HUMAN MALARIA

The savanna zone in West Africa

Summary

In the traditional rural areas of West Africa, the transmission of human malaria is observed during eight months from June to January. It is due mainly to *Anopheles gambiae* and *A. funestus* which are observed throughout the year. *A. gambiae* is the principal vector during the rainy season and *A. funestus* is the principal vector at the end of the rainy season and at the beginning of the dry season.

The *A. gambiae* complex is composed of two species in the Burkina Faso, namely *A. gambiae* and *A. arabiensis* which are observed in the whole territory. *A. gambiae* is dominant everywhere, at least concerning the indoor resting fraction of the complex. *A. arabiensis* is composed of a single population. *A. gambiae* gathers two sympatric populations showing partial reproductive isolation; these populations correspond to the Savanna and Mopti chromosomal forms.

The transmission intensity ranges from 50 to 250 bites of infected anophelines per man and per year in the different villages under study; it depends mainly on the vector density.

In a rice-growing area *A. funestus* is nearly absent; *A. gambiae* is the only vector and transmission occurs twice in the year when the vector density is very low. The transmission intensity is lower than in traditional rural areas despite a considerable density of vector anophelines.

In urban areas, malaria vectors are not numerous. A very low transmission is effected by *A. gambiae*. It is concentrated in districts and is all the lower as the district is more urbanized.

The pyrethroid impregnated nets are a new method made available to public health specialists. They are an effective improvement as related to untreated nets. They are also a new tool for the vector control when they are used by the whole community. An experiment conducted at village scale, allowed to reduce transmission by more than 90%.

Malaria is part of the African environment. The high intensity of its transmission makes it difficult to carry out an effective vector control.

The reduction of transmission leads to a reduction in the pathological influence of malaria, thus improving the general health conditions.

Key Words: malaria, transmission, anophelines, Intertropical Africa, *Anopheles gambiae* complex, savanna, rice-field, town, insecticide impregnated net, malaria control.

PREMIERE PARTIE

NOTE DE PRESENTATION

.

Introduction

A la fin du XX^{ième} siècle le paludisme reste une maladie potentiellement mortelle. Cette parasitose reste aussi extrêmement fréquente, touchant les deux tiers de la population humaine et toutes les zones intertropicales continentales.

La fréquence de cette parasitose est maintenue à ce haut niveau par la seule transmission biologique c'est à dire avec intervention d'un vecteur assurant une partie du cycle du parasite. Chaque individu est infecté plusieurs fois par an, en moyenne entre 10 et 300 fois dans les zones rurales de l'Afrique intertropicale. Comme en témoignent les marqueurs sérologiques, les hommes de ces régions n'échappent pas à l'infection plasmodiale; le risque d'infection est en fait une certitude.

Les projets de lutte contre le paludisme en Afrique, a fortiori les projets d'éradication de ce parasite, ont toujours buté sur l'intensité de la transmission. On a vu dans un passé récent à quel point il était difficile de la stopper pour que le paludisme régresse grâce aux guérisons spontanées en l'absence de nouvelles infections.

L'existence de cette transmission assure un état d'endémie mais aussi un état de relatif équilibre entre le parasite et l'hôte, et permet l'acquisition précoce et l'entretien d'une prémunition chez les individus infectés. Cette protection quoiqu'imparfaite, constitue la base de la survie de l'homme africain dans les zones à *Plasmodium falciparum*, principal agent éventuellement mortel du paludisme.

C'est pourquoi les projets les plus ambitieux de lutte contre le paludisme, lorsqu'ils sont couronnés de succès, s'accompagnent d'une importante réduction de la prémunition c'est à dire d'une augmentation de la sensibilité de l'homme au parasite. Ceci se traduit, sur le plan épidémiologique, par une transition d'une zone endémique à une zone épidémique. Toute reprise de la transmission dans un tel contexte pourra entraîner de graves conséquences avant le retour au niveau de prémunition initial. Ceci ne signifie pourtant pas que même sans espoir d'éradication la transmission du paludisme ne doive pas être réduite. Des mesures antiplasmodiales devront éventuellement accompagner cette réduction afin de limiter la morbidité et la mortalité.

Au cours de la première partie de cette thèse seront abordées successivement: 1^o) les relations vecteurs-parasites qui constituent le fondement biologique de cette transmission, 2^o) la transmission telle quelle est observable dans différents faciès d'Afrique sub-saharienne et sa quantification permettant son utilisation comme paramètre

épidémiologique, 3^e) la lutte contre le paludisme par la réduction de la transmission essentiellement grâce aux moustiquaires imprégnées d'insecticide et grâce à un hypothétique vaccin bloquant la transmission.

Ces trois chapitres s'efforcent d'illustrer certains aspects essentiels et modernes de la transmission du paludisme en faisant le lien entre les articles proposés dans la seconde partie de cette thèse.

Certaines voies de recherche peuvent dès lors être proposées.

1. Les relations vecteurs-parasites

Les inter-relations hommes-vecteurs-parasites constituent la clé de la compréhension de l'épidémiologie du paludisme. Parmi ces relations triangulaires seront dégagées celles qui lient les vecteurs et les parasites. Dans un premier temps chacun de ces derniers sera abordé indépendamment.

1.1. Les anophèles

Les vecteurs du paludisme humain appartiennent tous à la sous-famille des *Anophelinae* (Diptera, *Culicidae*) et la presque totalité au genre *Anopheles* Meigen. Parmi les quelques 400 espèces recensées dans ce genre à travers le monde, beaucoup se révèlent aptes à la transmission en conditions expérimentales mais moins de cinquante sont effectivement vectrices dans la nature (Boyd, 1949; Mattingly, 1969). En Afrique intertropicale, deux taxons, *Anopheles gambiae* s.l. et *A. funestus* assurent plus de 90% de la transmission alors que plus de 100 espèces et variétés y sont représentées (Gillies & De Meillon, 1968; Zahar, 1984 et 1985; Rodhain & Perez, 1985; Gillies & Coetzee, 1987).

Le reste de la transmission est principalement effectué par *A. nili* en zone de savane et de forêt et par *A. moucheti* dans les zones de forêt d'Afrique Centrale (Hamon & Mouchet, 1961; [p.81]). En effet, pour prétendre à un rôle vecteur dans la nature, l'aptitude physiologique du moustique à assurer le bon déroulement du cycle extrinsèque du *Plasmodium* est une condition nécessaire mais d'autres caractéristiques sont aussi indispensables comme la longévité (MacDonald, 1955), l'anthropophilie, la densité de population (Ungureanu, 1974), la possibilité et la fréquence des contacts avec l'homme (Elliot, 1972), la température, l'âge physiologique du vecteur (Chauvet *et al.*, 1965), etc.

Il existe de nombreuses méthodes permettant de déterminer l'âge physiologique d'un insecte (Raccaud-Schoeller, 1980) et d'un anophèle adulte (Hamon *et al.*, 1961). Toutefois, pour un anophèle femelle d'Afrique, il n'est pas encore possible de connaître précisément sa durée de vie en jour ni son nombre de cycles trophogoniques accomplis. Ceci oblige à considérer l'âge physiologique moyen d'une population de vecteur, ce qui constitue une considérable perte d'information. Le plus grand nombre des études publiées ne retiennent que le taux de parturité. Des études plus particulières permettent le calcul de

la capacité vectorielle (Garret-Jones, 1964 a et b; Garret-Jones & Shidrawi, 1969) qui est une excellente mesure, purement entomologique, de la potentialité vectrice d'une population d'anophèles. Cette capacité vectorielle intègre de nombreux paramètres dont l'obtention est laborieuse en pratique (Dye, 1986) et dont la mesure est souvent approximative à cause de réelles difficultés échantillonnage.

A l'avenir il est peu probable que les expérimentations très informatives sur les anophèles de capture-marquage-lâché-recapture (Saul, 1987) se développent à cause de la lourdeur de leur mise en œuvre. Par contre la détermination de l'âge des anophèles par les lignes de croissance des apodèmes thoraciques (Schlein & Gratz, 1972 et 1973; Schlein, 1979) pourrait avec profit être réalisée sur le terrain.

1.1.1. Techniques modernes de détermination spécifique des vecteurs

La taxonomie des anophèles relève encore essentiellement de la macromorphologie. A n'en pas douter il en restera ainsi durablement. Toutefois l'observation immédiate trouve ses limites discriminantes dans le cas des espèces jumelles dont le nombre croît au fur et à mesure de l'avancement des connaissances. D'autres techniques micromorphologiques ou biologiques doivent impérativement prendre le relais de la morphologie lorsque les espèces d'un complexe ont des rôles vecteurs différents.

Dans le complexe *A. gambiae* les techniques permettant la détermination spécifique sont nombreuses:

- la technique des croisements avec des souches de référence a permis la mise en évidence de ce complexe (Davidson, 1962);
- la technique cytogénétique a été la plus utilisée (Coluzzi, 1968; Coz, 1973; Coluzzi *et al.*, 1979). Cette dernière fait intervenir les chromosomes polyténiques des cellules des glandes salivaires des larves de stade IV ou des cellules trophocytaires de l'ovocyte chez les femelles semi-gravides. La technique cytogénétique est pour le moment la seule qui permette la mise en évidence de taxons de rang inférieurs à l'espèce;
- la technique électrophorétique est parfaitement efficiente (Micks *et al.*, 1966; Miles, 1978); des clés de détermination utilisent uniquement des méthodes biochimiques (Mahon *et al.*, 1976; Cianci *et al.*, 1983);
- la récente technique des sondes d'ADN spécifiques de chacune des différentes espèces du complexe semble opérationnelle (Gale & Crampton, 1987 a et b); des sondes du gène

de l'ARN ribosomique, moins sujettes à mutations que d'autres parties du génome, ont aussi fait leurs preuves (Collins *et al.*, 1987);

- enfin l'électrophorèse en phase gazeuse des hydrocarbures cuticulaires est en cours de mise au point et semble très prometteuse (Philips *et al.*, 1987).

1.1.2. Le complexe *Anopheles gambiae*

A. gambiae s.l. est le meilleur vecteur de paludisme en Afrique intertropicale et peut-être au monde. Il est formé par un complexe de six espèces jumelles. *A. gambiae* (ancienne espèce A) et *A. arabiensis* (ancienne espèce B) sont les plus anthropophiles et les meilleurs vecteurs de paludisme (et aussi de la filariose de Bancroft et d'arboviroses). En général, *A. gambiae* est l'espèce la plus fréquente en zone de forêt et de savane humide et dans les savanes sèches du Mali et du Burkina Faso. *A. arabiensis* est plus zoophile et plus exophile qu'*A. gambiae*. Ces deux espèces sont sympatriques dans la quasi totalité de la zone afrotropicale non méridionale. Leurs gîtes larvaires d'élection sont les collections d'eaux stagnantes, temporaires, peu profondes, ensoleillées et faiblement chargées en matières organiques; de nombreux autres gîtes peuvent éventuellement convenir mais les plus productifs sont incontestablement les premiers (Christie, 1959). *A. quadriannulatus* (ancienne espèce C) est strictement rencontrée en Ethiopie et dans l'est de l'Afrique méridionale. Les larves de ces trois espèces vivent dans l'eau douce, contrairement à celles des trois autres citées ci-après. Les larves d'*A. bwambae* (ancienne espèce D) vivent dans les sources d'eau minérales de la forêt de Semliki en Ouganda (White, 1985). Les larves d'*A. melas* et d'*A. merus* vivent en eau saumâtre respectivement sur le littoral ouest et est de l'Afrique. Ces trois dernières espèces sont allopatriques entre elles mais sont sympatriques à la fois avec *A. gambiae* et/ou *A. arabiensis* (Bryan *et al.*, 1987).

Chacune de ces espèces est manifestement protégée par d'efficaces mécanismes d'isolement reproductif (Touré, 1986); seulement deux hybrides naturels entre *A. gambiae* et *A. arabiensis* ont été trouvés au Burkina Faso parmi près de 6000 observations (Petrarca, com.pers.). Ces mécanismes ne sont pas encore formellement identifiés mais certainement dépendants de composantes éthologiques, agissant avant la copulation [p.91 et 109].

Parmi ces six espèces, *A. gambiae s.s.* est le principal vecteur de paludisme (White, 1974; Robert & Carnevale, 1984; [p.167]); *A. gambiae s.s.* est lui-même

composé de plusieurs populations appelées “formes chromosomiques” car identifiées à partir de leur caryotype d'inversion chromosomique (Coluzzi *et al.*, 1985; Petrarca *et al.*, 1987; [p.107]). Presque tous les individus de cette espèce appartiennent clairement à l'une de ces formes chromosomiques. Moins de 5% seulement ne peuvent pas être rattachés à l'une de ces formes; ils sont interprétés soit comme des hybrides entre deux formes, soit comme des recombinants, soit enfin ils sont porteurs d'inversions ou d'arrangements rares qu'on ne peut, au moins dans l'immédiat, classer avec certitude.

Au Burkina Faso, l'examen du bras droit du chromosome 2 (appelé 2R) montre que deux formes chromosomiques sont rencontrées: la forme Mopti se caractérise par les arrangements 2R*bc* et 2R*u*, la forme Savane se caractérise par l'arrangement 2R*b* et dans une moindre mesure par 2R*d*. Ces deux formes coexistent dans la plupart des localités prospectées.

L'arrangement 2R*bc* confère à la forme Mopti un avantage en conditions sèches comme par exemple dans le sud du pays en saison sèche et au sahel en toutes saisons.

L'arrangement 2R*u* est très fréquent en saison pluvieuse dans le sud où il est en compétition avec la forme Savane. Le caractère permanent ou temporaire des gîtes préimaginaux est alors déterminant et favorise respectivement la forme Mopti surtout en saison sèche et la forme Savane surtout en saison pluvieuse [p. 219].

Une question essentielle et encore largement ouverte, concerne d'éventuelles différences dans les rôles vecteurs pouvant être attribués à des individus ou des populations identifiées par des marqueurs génétiques apparents sur les chromosomes polyténiques (Touré, 1985). Dans la mesure où ces différences d'aptitude vectrice existeraient il est probable qu'elles seraient dues à des comportements particuliers (anthropophilie, endophilie...) plutôt qu'à des caractéristiques physiologiques et/ou génétiques propres; c'est à partir d'un tel postulat que les recherches ont été menées jusqu'à présent.

Touré *et al.* (1986) ont trouvé un indice sporozoïtique très supérieur chez les *A. gambiae* “Mopti” hétérozygote 2R*bc/u* par rapport aux *A. gambiae* “Mopti” homozygotes 2R*bc/bc* et/ou 2R*u/u*; toutefois le caractère transitoire de cette différence qui a été observée pendant un mois mais pas le mois suivant n'est pas expliqué par ces auteurs.

Toujours au sein de la forme chromosomique Mopti, dans la rizière de la Vallée du Kou aucune différence significative n'a été observée entre les préférences trophiques des

individus porteurs des arrangements 2Rbc et ceux porteurs de 2Ru [p.220]. Cette rizière constitue pourtant une zone privilégiée pour mettre en lumière une telle particularité comportementale si elle existe.

1.1.3. *Anopheles funestus*

A. funestus est l'autre vecteur majeur de paludisme en Afrique intertropicale. Sa répartition géographique recoupe celle d'*A. gambiae*. Ses larves se rencontrent fréquemment dans les eaux claires, ombragées, profondes, permanentes et à végétation flottante ou dressée (Brengues & Coz, 1973). Les adultes sont nettement anthropophiles et endophiles (Chauvet *et al.*, 1968). Les variations saisonnières des densités de population de cette espèce sont moins importantes que celles d'*A. gambiae*, probablement en liaison avec un développement préimaginal plus lent. *A. funestus* manifeste une piètre aptitude à pénétrer les milieux urbain et forestier (Hamon *et al.*, 1956).

1.1.4. Les vecteurs secondaires

Plusieurs espèces jouent un rôle d'appoint dans la transmission du paludisme: *A. moucheti*, *A. nili*, *A. pharoensis*, *A. hargreavesi*, *A. paludis*... Seuls *A. moucheti* ou *A. nili*, dans certaines localités de zone forestière, peuvent être soit le seul vecteur existant localement soit le vecteur principal; les autres espèces coexistent avec *A. gambiae s.l.* ou *A. funestus* dont les populations sont supérieures en nombre et en potentialité vectrice (Hamon & Mouchet, 1961).

A. moucheti est inféodé au bloc forestier d'Afrique Centrale. Ses larves se développent dans la végétation dressée des cours d'eau à courant lent. Les adultes sont volontiers anthropophiles et endophiles; les taux d'infection sont variables mais peuvent être élevés (Mouchet & Gariou, 1966).

A. nili existe en zones de forêt et de savane. Ses larves vivent dans les eaux courantes des rivières parmi la végétation. Les adultes sont volontiers anthropophiles même s'ils sont nettement exophiles (Camevale, 1974; Camevale & Boreham, 1978).

1.2. Les *Plasmodium*

1.2.1. Des gamétocytes aux sporozoïtes

Le lien entre la prévalence gamétocytaire dans la population humaine et l'intensité de la transmission est primordial (Jeffery & Eyles, 1955) mais beaucoup reste à découvrir pour caractériser précisément les réservoirs infectieux des quatre espèces plasmodiales humaines (Anonyme, 1987). L'étude de Muirhead-Thomson (1957) en zone de haute endémicité reste la référence en ce domaine et conclut à une liaison étroite entre le pouvoir infectieux d'un individu pour l'anophèle et la présence de gamétocytes de *P. falciparum* dans son sang. Carter & Gwatz (1980) révisent ces observations sur la base de la composition démographique de la population humaine et mettent en avant le rôle important des adultes qui équivaldrait à celui des autres classes d'âge (0-1 an; 1-5 ans; 5-15 ans); en effet les adultes sont souvent porteurs de gamétocytes à une densité faible, voisine du seuil de décelabilité de la technique utilisée. Quoiqu'il en soit 300 gamétocytes par microlitre de sang sont nécessaires pour obtenir expérimentalement des pourcentages d'infection sur membranes régulièrement supérieurs à 70% chez le moustique (Graves, 1980).

La transformation des gamétocytes survient dans le quart d'heure qui suit leur ingestion par un anophèle femelle lors d'un repas de sang. Elle dépend du potentiel infectant de chaque gamétocyte qui est variable même pour des gamétocytes morphologiquement matures (Lusetti-Lyannaz, 1985). Ceci laisserait entendre qu'une activation du gamétocyte serait nécessaire pour lui conférer son pouvoir infectieux.

Il ne semble pas y avoir de variation du potentiel infectieux du gamétocyte en fonction du nyctémère (Bray *et al.*, 1976).

Dans l'estomac de l'anophèle les facteurs impliqués dans la poursuite du cycle du *Plasmodium* sont: une élévation du pH et une baisse de la température (Schneider & Vanderberg, 1980) mais un facteur encore indéterminé produit par le moustique semble aussi intervenir (Nijhout, 1979).

Après la fécondation des gamètes et le stade zygote, un ookinète se forme. Il présente des différenciations morphologiques caractéristiques d'un stade parasitaire invasif (Aikawa *et al.*, 1984; Sinden, 1985; Sinden *et al.*, 1985). Il quitte la lumière de l'estomac après le repas infectieux, juste avant la formation de la membrane péritrophique (Le Berre, 1967). La pénétration des ookinètes de *P. falciparum* à travers l'épithélium

stomacal du moustique intervient une trentaine d'heures après le repas sanguin et emprunte une voie intercellulaire (Meis & Ponnudurai, 1987).

L'ookinète s'accroît et se divise en plusieurs sporoblastes au sein d'un oocyste. La réussite de la formation des oocystes est d'autant meilleure que le nombre d'œufs formés est faible (Ponnudurai *et al.*, 1987). Un oocyste de *P. falciparum* libère davantage de sporozoïtes qu'un oocyste de *P. vivax* (Burkot *et al.*, 1987).

Les sporozoïtes immatures produits par l'oocyste se retrouvent dans les différentes structures anatomiques du moustique (Robert *et al.*, 1988 d [p.144]) avec une préférence pour les glandes salivaires où ils s'accumulent et acquièrent leur aptitude à devenir infectants pour l'hôte vertébré (Vanderberg, 1975).

1.2.2. L'hétérogénéité des isolats plasmodiaux

Les caractéristiques permettant d'identifier différents isolats de *P. falciparum* ont été individualisées grâce à une analyse électrophorétique des iso-enzymes. Quoique ces différences soient peu marquées elles prouvent l'hétérogénéité des souches circulant dans le monde (Molez *et al.*, 1984) et suggèrent que toutes ces souches appartiennent à la même communauté de reproduction c'est à dire à la même espèce.

D'autres techniques comme l'électrophorèse des protéines en deux dimensions (Tait, 1981) ou l'étude des motifs antigéniques (MacBride *et al.*, 1982; Hommel *et al.*, 1983) mettent en lumière une très importante diversité des isolats de *P. falciparum* de provenances géographiques variées. Ces observations sont toutefois difficilement intégrables dans une optique épidémiologique (Walliker, 1983) et d'éventuelles relations restent à établir entre les caractères génétiques propres à certaines souches, leur degré de pathogénicité et leur provenance géographique.

La transmission est un facteur sélectif très important pour les souches plasmodiales. Il est clair que dans les localités à brève période de transmission, seules les souches gamétocytogènes au moment de la transmission seront transmises. C'est le cas au sahel où le cycle érythrocytaire assure la survie du parasite pendant la longue saison sèche où la transmission est très faible ou nulle. Ce point devrait faire l'objet d'études particulières.

1.2.3. Les techniques modernes d'identification du parasite dans le moustique

La mise en évidence de déterminants antigéniques spécifiques de l'espèce plasmodiale et du stade sporozoïtique (Nardin & Nussenzweig, 1978) a permis l'essor des techniques immunologiques cherchant à mettre en évidence et à quantifier ces antigènes dans le moustique. Les techniques radio-immunologiques (IRMA) sont apparues les premières (Zavala *et al.*, 1982; Collins *et al.*, 1985). Cette technique étant difficilement réalisable dans des laboratoires moyennement ou peu équipés on a cherché à disposer d'une technique comparable utilisant des réactions colorimétriques de type ELISA (Burkot *et al.*, 1984; Verhave *et al.*, 1988). Ces techniques ont initialement été mises au point avec *P. falciparum*. Maintenant des anticorps monoclonaux anti-sporozoïtes de *P. malariae* et de *P. vivax* sont disponibles et ont été utilisés en ELISA (Wirtz *et al.*, 1985; Collins *et al.*, 1988; Burkot *et al.*, 1988). La détermination des indices sporozoïtiques des vecteurs par espèces plasmodiales est ainsi devenue aisée, constituant un réel progrès par rapport à l'ancienne méthode, d'ailleurs fort peu pratiquée, de détermination de l'espèce plasmodiale en fonction de la répartition du pigment dans l'oocyste (Shute & Maryon, 1951).

L'IRMA et l'ELISA possèdent les mêmes qualités fondamentales par rapport à la classique dissection des glandes salivaires suivie de la recherche des sporozoïtes au microscope (Stephens, 1911): elles sont sensibles, caractéristiques de l'espèce et du stade plasmodial, relativement reproductibles moyennant une astuce d'étalonnage par plaque pour l'ELISA (Boudin *et al.*, 1988 [p. 148]). Elles permettent de travailler sur du matériel biologique congelé ou séché et conservé plusieurs mois avant d'être testé. Elles permettent de quantifier la charge sporozoïtique et surtout elles conviennent bien à la détermination de l'indice sporozoïtique par espèces plasmodiales. C'est ainsi qu'*A. gambiae* et *A. funestus* ont été clairement désignés comme vecteurs de *P. malariae* dans la région de Bobo-Dioulasso (Verhave *et al.*, 1987) et comme vecteurs de *P. ovale* au Kenya (Beier *et al.*, 1988).

Les abdomens de moustiques peuvent contenir des oocystes mûrs possédant les marqueurs antigéniques des sporozoïtes. Ceci peut être la cause de faux positifs, aussi ces techniques doivent être réalisées seulement sur la tête et / ou le thorax pour déterminer l'indice sporozoïtique.

La principale limite de ces techniques concerne leur inaptitude à certifier la présence de sporozoïtes dans les glandes salivaires de moustiques dont les thorax sont eux-mêmes porteurs d'antigènes sporozoïtiques, en effet des glandes salivaires sans

sporozoïtes dans un thorax positif en ELISA ont déjà été observées avec des infections naturelles (Lombardi *et al.*, 1987) et expérimentales (Robert *et al.*, 1988 d [p.144]).

En définitive ces techniques apportent un réel progrès pour l'entomologie médicale mais des précautions doivent encore être prises. A l'avenir il faudra se garder de comparer sans ajustement les indices sporozoïtiques obtenus par la technique classique et ceux obtenus par les techniques immunologiques car ces dernières révèlent davantage de moustiques positifs (Esposito *et al.*, 1986). Les résultats obtenus par ces techniques doivent encore être discutés par des spécialistes au fait de l'utilisation des indices en épidémiologie. De sérieuses réserves pourraient être émises sur les techniques modernes si les observations de thorax positifs abritant des glandes salivaires sans sporozoïte se multipliaient.

1.3. Les inter-relations *Anopheles-Plasmodium*

1.3.1. Pathogénicité du parasite pour le vecteur

Les conséquences de l'infection par le *Plasmodium* sur la longévité des anophèles posent une question essentielle, apparemment facile à résoudre mais qui reste largement ouverte. Ceci illustre à quel point le chapitre de la malariologie concernant les relations entre les vecteurs et les parasites reste à écrire (Freyvogel, 1980; Maier *et al.*, 1987). Il est en fait très difficile d'établir les différentes responsabilités qui reviennent au moustique, au sang ingéré, au parasite, ou même à divers agents fréquemment associés aux moustiques tels que virus, bactéries et protozoaires; les interactions entre plusieurs de ces éléments jouent également un rôle important.

Le parasite entraîne des modifications des constituants de l'hémolymphe du moustique; les acides aminés sont en quantité très réduite chez l'anophèle infecté (Mack & Vanderberg, 1978; Mack *et al.*, 1979): la quantité d'acides aminés libres circulant dans l'hémolymphe d'*A. stephensi* infectés par *P. berghei* ne représente que 15 à 25% de celle des moustiques sains; la quantité de méthionine est voisine de zéro, la valine et l'histidine sont très diminuées et l'arginine est curieusement augmentée. Ainsi d'évidentes perturbations dans la physiologie du moustique sont causées par le parasite.

Les différentes espèces plasmodiales et anophéliennes se comportent différemment; ainsi les nombreuses observations effectuées avec des *Aedes* ou des *Culex* et des *Plasmodium* de rongeurs ou d'oiseaux ne sont pas extrapolables aux modèles

humains. Ceci explique en partie pourquoi certains auteurs soutiennent que l'infection est responsable d'effets pathogènes chez le moustique (Ross, 1910; Sergent, 1919; Sinton & Shute, 1938) alors que d'autres (De Buck & Swellengrebel, 1935; Boyd, 1940; Wilkinson *et al.*, 1972) penchent pour l'innocuité du parasite chez le vecteur.

Parmi les effets pathogènes rapportés, deux phases critiques se dégagent: la première concerne la pénétration de la paroi stomacale du moustique par l'ookinète (Buxton, 1935; Maier, 1973; Gad *et al.*, 1979) et la seconde débute à partir de la libération des sporozoïtes (Klein *et al.*, 1986; De Buck & Swellengrebel, 1935; Rossignol *et al.*, 1984). Pour le cas particulier du couple *P. falciparum* / *A. gambiae* s.s. aucune mortalité particulière n'a été enregistrée dans les quelques jours suivant le repas infectant (Ponnudurai, com.pers.; Robert, non publié) mais une très faible surmortalité est observée chez l'anophèle infectant (Ponnudurai, com.pers.).

1.3.2. L'infectivité des parasites pour le vecteur

Le caractère "susceptible" ou "réfractaire" à l'infection par *Plasmodium* des différentes espèces d'anophèles relève de la physiologie de ces espèces (Coz & Picq, 1972; Graves, 1980) mais reste largement inexpliqué. Une belle expérience sur des parabioses de moustiques susceptibles et réfractaires conclut que l'espèce réfractaire possède une substance toxique pour le parasite, rendant réfractaire les deux membres de la parabiose (Weathersby & MacCroddan, 1982). Des phénomènes de reconnaissance cellulaire sont également mis en jeu (Lackie, 1988): les sporozoïtes de *P. knowlesi* ne pénètrent pas à l'intérieur des glandes salivaires d'*A. freeborni*, quoique le cycle extrinsèque du parasite se déroule normalement chez cette espèce anophélienne jusqu'à libérer des sporozoïtes aptes à pénétrer dans des glandes salivaires d'une autre espèce anophélienne (Rosenberg, 1985).

Il semble possible, même à partir de populations avérées bonnes vectrices dans la nature, de sélectionner pendant plusieurs générations des souches de moins en moins bonnes vectrices jusqu'à obtenir des souches complètement réfractaires. C'est un travail long et fastidieux mais a priori envisageable (Corradetti *et al.*, 1970); il a été entrepris sur *A. stephensi* (Feldman & Ponnudurai, 1987) et sur *A. gambiae* (Al Mashhadani, 1974). Une étape importante de l'utilisation sur le terrain de ces souches réfractaires concerne le remplacement dans la nature de la population d'anophèle sauvage susceptible par une population issue de la souche d'élevage réfractaire non compétitive par rapport à la population sauvage (Davidson, 1971; Kitzmiller, 1972). Un tel remplacement est

concevable seulement sur un site isolé où la population sauvage de la seule espèce vectrice aurait préalablement été détruite (mais alors pourquoi en mettre une autre?) car s'il reste des individus de la population originelle ils auraient tôt fait de submerger les réfractaires issus du laboratoire. Une autre solution serait d'introduire le caractère réfractaire dans la population vectrice sauvage sans remplacer cette dernière. Tout ceci est bien théorique et laisse penser que le niveau de difficulté de telles opérations est très élevé; rien de comparable n'a été réussi jusqu'à présent.

L'adaptation entre une souche plasmodiale et les espèces anophéliennes locales est un fait acquis. Ainsi les anophèles européens (James *et al.*, 1932; Ramsdale & Coluzzi, 1975) et la majorité des espèces anophéliennes soviétiques (Daskova & Rasnitsyn, 1982) sont pratiquement réfractaires aux souches africaines ou asiatiques de *Plasmodium* humains. Réciproquement des souches africaines d'*A. gambiae* sont très mauvaises vectrices de *P. falciparum* chinois (Collins *et al.*, 1981).

L'infectivité est un paramètre variable en fonction d'autres agents, même pour un couple *Anopheles* s.p. / *Plasmodium* s.p. donné. Parmi les agents les plus connus les *Microsporidiae* du genre *Nosema* sont des parasites intracellulaires obligatoires de moustiques; les anophèles parasités sont beaucoup moins sensibles à une infection plasmodiale que les anophèles sains (Fox & Weiser, 1959). *Bacillus sphaericus* et *B. thuringiensis* sérotype H14, lorsqu'ils sont ingérés à dose subléthale par la larve, ont aussi une activité réductrice sur l'infectivité de l'adulte (Robert *et al.*, 1987 a [p.159]); cette activité est faible et sans portée pratique.

1.3.3. Influence du parasite sur le comportement du vecteur

Ce thème n'a encore fait l'objet que de peu d'études. La recherche en ce domaine serait certainement à promouvoir vu son importance épidémiologique.

Le caractère infectieux ou non d'un homme semble sans conséquence sur le comportement du vecteur sain (Molyneux & Jefferies, 1986).

Le volume sanguin prélevé par le moustique lors du repas est plus faible sur des poulets infectés par *P. gallinaceum* que sur des poulets sains (Freier & Friedman, 1976).

Les moustiques se gorgent préférentiellement sur des souris plus ou moins léthargiques, en particulier lorsqu'elles sont malades et au maximum de leurs infectivités (Day & Edman, 1983).

Concernant le comportement d'*Aedes aegypti* infectés par *Plasmodium gallinaceum*, la durée du repas sanguin est augmentée, ce qui pourrait faciliter l'injection des sporozoïtes lors de la piqûre (Rossignol *et al.*, 1984); le taux de piqûre est aussi augmenté (Rossignol *et al.*, 1986; Rossignol & Mackay Rossignol, 1988).

L'aptitude au vol est réduite de façon proportionnelle au niveau d'infection (Schiefer *et al.*, 1977; Rowland & Boersma, 1988).

1.3.4. Rôle des vecteurs dans les résistances médicamenteuses du parasite

En Afrique la chloroquinorésistance s'étend apparemment de proche en proche (Le Bras *et al.*, 1987; Payne, 1987). L'émergence de cette résistance est brutale et advient le plus souvent dans des foyers urbains et péri-urbains où la consommation médicamenteuse est plus élevée qu'en zone rurale. La consommation médicamenteuse est un facteur manifeste de sélection et d'entretien de la résistance (Wery & Coosemans, 1980; Charmot & Rodhain, 1982; Peters, 1985). La rapidité avec laquelle les souches résistantes se disséminent dans la population humaine laisse entrevoir une responsabilité partielle du vecteur dans l'avantage apparent qu'ont les souches résistantes par rapport aux souches sensibles.

Expérimentalement la chloroquine semble accroître l'infectiosité des gamétocytes de *P. falciparum* pour *A. balabacensis* mais pas pour *A. minimus* (Wilkinson *et al.*, 1976); ceci pourrait conférer à *A. balabacensis* un rôle particulier dans la transmission des souches résistantes mais l'expérience n'est pas concluante et l'argument, très indirect, doit être vérifié sur le terrain. *A. stephensi* et *A. gambiae* sont de bons vecteurs d'isolats thaïlandais de *P. falciparum* chloroquinorésistants (MacCarthy & Clyde, 1974).

Jusqu'à présent les études de terrain sur les relations entre vecteurs et résistances médicamenteuses sont très peu nombreuses. En Thaïlande il existe des présomptions sur les isolats de *P. falciparum* chloroquinorésistants qui seraient mieux transmis par les vecteurs locaux, *A. dirus* et *A. stephensi*, que les isolats sensibles (Sucharit *et al.*, 1977); la démonstration reste à faire. Au Burkina Faso, Coz *et al.* (1970) ont montré que les isolats pyriméthaminorésistants sont expérimentalement transmis par *A. gambiae* mais avec un cycle extrinsèque légèrement allongé par rapport aux souches sensibles.

L'infectivité pour *A. stephensi* des isolats chloroquinorésistants de *P. berghei* est clairement augmentée en présence d'une seule injection de chloroquine administrée à la souris parasitée, 12 heures avant le repas sanguin (Ramkaran & Peters, 1969).

Une approche théorique de la transmission des souches résistantes est proposée par Brandicourt & Gentilini (1987). A partir de la formule classique de Macdonald (1952) pour calculer un indice sporozoïtique, ces auteurs proposent une estimation de la proportion de vecteurs infectés susceptibles de transmettre une souche chloroquinorésistante; cette proportion est seulement fonction du pourcentage d'isolats résistants dans la population humaine, du taux de survie du moustique (p), de la durée du cycle extrinsèque (n) et de l'indice sporozoïtique observé (s). L'évolution des risques relatifs d'inoculation d'une souche résistante (calculés d'après la formule de Birley, *in* Brandicourt *et al*, 1986) en fonction du pourcentage d'isolats résistants n'est pas identique dans les différentes régions d'Afrique intertropicale: elle est pratiquement linéaire dans les zones à transmission réduite (sahel, ville) et elle est d'allure logarithmique dans les zones à transmission intense (savane, forêt). Ceci explique en partie pourquoi, parmi la population humaine, le pourcentage d'isolats chloroquinorésistants augmente à des vitesses différentes selon les faciès épidémiologiques.

Les travaux sur les rapports éventuels entre le vecteur et la chimiorésistance du parasite restent difficiles et butent sur l'absence de technique permettant de mesurer la sensibilité médicamenteuse du parasite dans le vecteur. La mise à disposition d'une telle technique ouvrirait un vaste domaine de recherches.

2. La transmission, un paramètre épidémiologique majeur

2.1. La mesure de la transmission

2.1.1. En zone endémique

La mesure entomologique de la transmission

Jusqu'à présent le paramètre considéré comme le plus fiable pour définir la valeur de la transmission du paludisme est le taux d'inoculation entomologique c'est à dire le nombre de piqûres d'anophèles infectés reçues par homme et par unité de temps. Cet indice représente le produit du nombre de piqûres reçues par homme et par unité de temps (**ma**) par le pourcentage de moustiques porteurs de sporozoïtes dans leurs glandes salivaires (**s**) (Macdonald , 1955). La formule de la transmission (**h**) est relativement simple dans son principe puisque seulement deux paramètres (densité anophélienne et indice sporozoïtique) sont concernés; elle est devenue un des classiques de l'épidémiologie:

$$h = ma \cdot s$$

Sur le terrain les mesures de ces paramètres sont simples mais extrêmement contraignantes. Pour la mesure de la densité on utilise la méthode classique de la capture nocturne de moustiques sur des sujets humains placés dans les conditions habituelles d'un dormeur. Pour la détermination de l'indice sporozoïtique on observe au microscope la présence de sporozoïtes dans les glandes salivaires ou bien on procède selon d'autres techniques exposées précédemment (voir 1.2.3. [p.25]). En fait on calcule pour chaque espèce anophélienne vectrice les divers taux d'inoculation dont la somme représente le véritable taux d'inoculation.

Dans l'état actuel de nos connaissances cette méthode ne saurait être remplacée par aucune autre car c'est la seule qui donne directement accès à la fraction anophélienne agressive pour l'homme; cette fraction est la seule qui intéresse la mesure de la transmission. Cette méthode présente de nombreux autres intérêts: elle est facilement reproductible dans le temps et dans l'espace; elle met bien en évidence les variations relatives de densité culicidienne si on prend la précaution de travailler avec les mêmes captureurs dans les mêmes conditions. Elle est toutefois peu sensible et fournit des résultats approximatifs lorsque la transmission est très faible. Cette mesure présente des

variations importantes entre des individus placés dans des conditions analogues; ceci est en partie dû au fait que la sélection de l'hôte à piquer n'est pas faite de façon aléatoire par le moustique (Burkot, 1988).

La mesure de la transmission telle qu'elle vient d'être décrite concerne exclusivement les piqûres d'anophèles infectés. Lors de la piqûre, on ignore si des sporozoïtes sont systématiquement injectés; d'autre part ceux-ci ne sont pas tous physiologiquement aptes à infecter l'homme et à assurer la continuité du cycle du parasite. En ce sens la mesure du nombre de piqûres d'anophèles infectés entraîne sans doute une surestimation des piqûres d'anophèles réellement infectants pour l'homme.

L'estimation du taux d'inoculation entomologique est possible sans recourir à la méthode de la capture de moustiques sur sujets humains. On utilise divers techniques de piégeage (Service, 1976 a; Mpofu, 1985) ou des captures au pyrèthre (Rossi *et al.*, 1986). Dans tous les cas les données recueillies doivent être rapportées à la densité et aux habitudes de vie des populations humaines ainsi qu'à une estimation des préférences trophiques des vecteurs et à leur biologie. Dans la pratique il est difficile de maîtriser tous les paramètres pour obtenir un taux précis. Aussi cette méthode n'est pas très fiable mais fournit une approximation suffisante dans bien des cas.

Une autre méthode de mesure de la transmission qui n'a encore pas fait ses preuves est basée sur la spécificité et la proportionnalité de la réponse immunitaire à l'injection de sporozoïtes. Ces derniers possèdent des motifs antigéniques particuliers qui, après injection chez un hôte vertébré, déclenchent la synthèse d'anticorps spécifiques de stade et d'espèce. Ces anticorps sont alors révélés et dosés par une méthode sérologique. Une telle méthode, pour être employée couramment, devrait fournir des données à la fois sur l'intensité de la transmission et sur sa dynamique temporelle. Les premiers travaux utilisant la technique sérologique, effectués par Del Giudice *et al.* (1987) en Tanzanie, sont encourageants mais les résultats de la méthode sérologique sont encore trop approximatifs dans les régions de transmission intense et la méthode entomologique reste supérieure.

Une autre approche pour mesurer la transmission consisterait à dénombrer le nombre de sporozoïtes qui passent dans la circulation sanguine de l'hôte lors de la piqûre. Cette mesure pourrait être la plus appropriée en zone d'endémie; elle est techniquement très difficile et n'a pas encore été réalisée. Un appareillage inspiré de celui de Gordon &

Lumsden (1939) ou de Griffiths & Gordon (1952) pourrait apporter quelques informations. Il convient de distinguer parmi les sporozoïtes injectés à l'extrémité de l'hypopharynx lors de la piqûre ceux qui passent effectivement dans la circulation sanguine de l'hôte de ceux qui sont ingérés par l'anophèle avec le sang de l'hôte. En effet, lors de son éjection pendant une piqûre infectée la salive contient des sporozoïtes, mais les fonctions premières de la salive sont anticoagulante et digestive (Mellink & Van Den Bovenkamp, 1981; Ribeiro, 1987; Hudson *et al.*, 1960), aussi de nombreux sporozoïtes doivent se retrouver avec la salive ingérée dans l'estomac du moustique et sont donc perdus pour la transmission.

Pringle (1966) dans un village hyperendémique de Tanzanie donne la répartition des charges sporozoïtiques dans les glandes salivaires de moustiques naturellement infectés. Ces dernières sont très inégalement infectées; elles contiennent de 82 à 245 000 sporozoïtes par paires de glandes salivaires; la charge sporozoïtique est supérieure chez *A. gambiae* par rapport à *A. funestus* et la moyenne arithmétique est 17030 pour *A. gambiae* et 8670 pour *A. funestus*; une telle découverte laisse supposer qu'il est inexact de considérer à égalité le nombre de piqûres de ces deux vecteurs en termes de quantité de transmission.

Dans plusieurs villages de Papouasie-Nouvelle-Guinée les prévalences dans la population humaine de l'infection à *P. falciparum* et à *P. vivax* sont chacune davantage liées au nombre de sporozoïtes dans les glandes salivaires des vecteurs, plutôt qu'au nombre absolu de piqûres infectées reçues par homme (Burkot *et al.*, 1987): en effet la prévalence de *P. falciparum* est nettement supérieure à celle de *P. vivax* alors que les indices sporozoïtiques par espèces plasmodiales sont identiques et que les glandes salivaires des vecteurs abritent davantage de sporozoïtes de *P. falciparum* que de *P. vivax*.

L'hypothèse de piqûres d'anophèles à glandes salivaires fortement infectées qui entraîneraient un paludisme plus sévère a été émise (Pampana, 1963).

L'approche quantitative du nombre de sporozoïtes injectés, ou mieux, du nombre de sporozoïtes passant dans la circulation sanguine de l'hôte pourra probablement faire progresser la connaissance de la transmission en zone d'endémie. Une telle mesure servira peut-être alors de base pour connaître le nombre de sporozoïtes qui pénètrent dans les hépatocytes. Tout ceci reste encore entièrement à explorer.

L'apport de la parasitologie à la connaissance de la transmission

En marge des techniques entomologiques, des investigations parasitologiques apportent aussi des informations sur la transmission du paludisme.

Les examens parasitologiques du sang des nourrissons de 3 à 6 mois ont été largement utilisés pour objectiver la réalité de la persistance de la transmission pendant "l'épopée de l'éradication" (Cavalié & Mouchet, 1961 et 1962). Ils constituent une méthode plus sensible et moins contraignante que les fastidieuses et onéreuses captures nocturnes de moustiques suivies des dissections fréquemment négatives lorsque la transmission est très faible. Pour déterminer la valeur du taux d'inoculation parasitologique on néglige le paludisme congénital, ainsi chaque bébé avec des parasites dans le sang aura reçu au moins une piqûre infectante. Le nombre de piqûres infectantes par nourrisson et par unité de temps est calculé directement à partir de la prévalence parasitaire chez les nourrissons (Peters, 1960). En considérant que les bébés reçoivent quatre fois moins de piqûres que les adultes (Carnevale *et al.*, 1978; Port *et al.*, 1980) le calcul du taux d'inoculation parasitologique est aisé; celui-ci est logiquement inférieur au taux d'inoculation entomologique (Davidson, 1955). En fait la mesure de la transmission par cette méthode est douteuse en zone de forte endémie principalement à cause de la méconnaissance chez le nourrisson de la durée de l'efficacité des anticorps anti-plasmodiaux materno-transmis et de la durée de persistance de l'hémoglobine F.

L'estimation des taux d'incidence et de guérison des enfants suivis longitudinalement a été faite à l'aide du modèle de Muench (1959) repris par Bekessy *et al.* (1976). Krafur & Armstrong (1978), Carnevale (1979), Molineaux & Gramiccia (1980) et Gazin *et al.* (1988 c, [p.241]) ont comparé ces données parasitologiques et les taux d'inoculation entomologique. Ces deux méthodes complémentaires apportent de précieux renseignements sur la dynamique et sur la quantité de transmission; elles montrent que la corrélation entre ces deux approches est étroite.

2.1.2. En zone à transmission inhabituelle

Chez les sujets présentant une immunité faible ou nulle, chaque piqûre réellement infectante peut aboutir, en quelques jours dans le cas de *P. falciparum*, à la présence du parasite dans les érythrocytes qui entraîne le plus souvent des symptômes cliniques (Gentilini, Duflo *et al.*, 1982). Dans ces conditions la mesure de la transmission est relativement aisée; elle est basée sur le recueil des manifestations parasito-cliniques

c'est à dire sur l'observation de l'incidence de la maladie soit dans les centres de santé soit par détection active parmi la population.

C'est dans les zones faiblement impaludées que l'apport des méthodes sérologiques, témoignant d'infections récentes ou en cours, est le plus utile (Ambroise-Thomas, 1974; Benzerroug & Wéry, 1985), comme l'illustre le cas de la l'île de la Réunion où cette surveillance épidémiologique est actuellement effectuée.

Dans les zones où les *Plasmodium* ont été éradiqués, des cas autochtones sont éventuellement observables (Gentilini & Danis, 1981): une transmission peut survenir avec les anophèles locaux lorsque les conditions climatiques sont favorables, à partir de migrants porteurs de gamétocytes. C'est le cas des épidémies de paludisme en zone d'altitude (Garnham 1945 et 1948; Fontaine *et al.*, 1961).

Enfin, et sans spécification de zone, une transmission autochtone peut survenir avec des anophèles infectés et transportés accidentellement; c'est le cas du paludisme de ports et d'aéroports. En France 12 cas de paludisme d'aéroports ont été rapportés entre 1969 et 1985 (Danis *et al.*, 1988).

Une transmission non biologique, consécutive à des transfusions sanguines de donneurs impaludés peut également survenir. Ce mode de transmission est numériquement très peu important: 4 à 5 cas annuels sont signalés en France (Danis *et al.*, *loc.cit.*; Jeannel *et al.*, 1987).

Il est évident que le dénombrement des cas de paludisme transfusionnel et d'aéroport n'est précis que dans les zones exemptes de transmission.

2.2. La transmission dans différentes zones d'Afrique intertropicale

En Afrique intertropicale la mesure du taux d'inoculation entomologique sur une période égale ou supérieure à une année a été effectuée dans les principaux faciès phytogéographiques et anthropiques.

2.2.1. En forêt

Il n'y a pas de paludisme en forêt authentique. Outre l'évidente absence d'homme (mis à part les Pygmés) les vecteurs majeurs de paludismes humains sont aussi absents de cette zone (Mouchet, 1976).

La présence de communauté humaine sédentaire en forêt se traduit immédiatement par une déforestation plus ou moins importante. L'ouverture du paysage favorise l'implantation et la multiplication du principal vecteur dans cette zone (Mattingly, 1949; Adam, 1956; Fox, 1957): *A. gambiae* s.s. qui reste très dépendant de l'homme et de ses activités. En liaison avec l'absence de bétail il est strictement anthropophile et doit rentrer dans les maisons pour piquer l'homme (Mouchet & Gariou, 1957). Tout au long de l'année les conditions climatiques sont plutôt favorables à la survie des moustiques adultes et à la productivité des gîtes préimaginaux; toutefois les densités d'*A. gambiae* sont sujettes à des variations saisonnières et au Sud-Cameroun deux pics annuels sont observés lors des saisons pluvieuses (Livadas *et al.*, 1958). Une exception importante est due au fait qu'en saison sèche la décrue des fleuves et rivières met à jour de très nombreux gîtes larvaires sur les bancs de sable et les seuils rocheux; ceux-ci sont exploités aussitôt par *A. gambiae* entraînant des pullulations du vecteur en bordure des cours d'eau et déterminant ainsi un troisième pic annuel de densité (Mouchet, 1962).

A. funestus a un rôle des plus réduits dans la transmission en Afrique Centrale mais il est plus important en Afrique de l'Ouest.

Les principaux vecteurs secondaires forestiers sont *A. moucheti* en Afrique Centrale et *A. nili* en Afrique Centrale et de l'Ouest. Les taux d'infection de ces deux vecteurs sont plutôt faibles mais leurs densités sont parfois très élevées et il peuvent localement jouer un rôle important dans la transmission sans toutefois atteindre l'importance d'*A. gambiae* (Mouchet & Gariou, 1966; Hamon & Mouchet, 1961).

En zone forestière la transmission est sub-permanente et son intensité suit les variations des densités de vecteurs; au cours de la grande saison sèche la baisse de la transmission est très nette en forêt du Mayombe au Congo (Richard, 1983). La densité moyenne de vecteur est extrêmement variable; c'est ce qui explique des niveaux de transmission très différents d'un village à un village voisin (Languillon *et al.*, 1956; Hamon *et al.*, 1962; Escudie *et al.*, 1962); Coz *et al.* (1966) observent que l'intensité de la transmission dans la zone forestière non littorale de la région de Sassandra, Côte d'Ivoire, varie de 50 piqûres infectées par homme à plus de 1000 selon les localités.

C'est en forêt dégradée qu'ont été observés les records d'intensité de transmission: en forêt congolaise, au sud de Brazzaville, Carnevale *et al.* (1985) rapportent 850 piqûres infectées par homme et par an.

2.2.2. En savane

La zone des savanes tropicales est caractérisée par l'alternance d'une saison sèche qui dure au moins trois mois et d'une saison pluvieuse pendant le reste de l'année. La saison sèche est globalement défavorable au développement des vecteurs dont les densités diminuent pendant cette période.

La transmission du paludisme diminue aussi, souvent à des valeurs inférieures à celles du seuil de sensibilité de la méthode entomologique. Le nombre de piqûres annuelles infectées varie de quelques centaines à quelques dizaines respectivement dans les savanes les plus humides et les plus sèches. Hamon *et al.* (1959) observent une moyenne annuelle de 35 piqûres infectées par homme dans les zones rurales exemptes de traitement insecticide dans la région de Bobo-Dioulasso. Dans cette même région, une trentaine d'années plus tard, Robert *et al.* (1985), avec les mêmes méthodes, retrouvent un niveau de transmission équivalent: 55 piqûres annuelles infectées dans les villages de Dandé et de Tago qui peuvent être considérés comme typiques de la région. Certains villages situés dans des zones particulières ont un niveau de transmission nettement supérieur; c'est le cas du village de Kongodjan, situé dans un bas-fond où l'eau stagne une grande partie de l'année, avec un taux annuel d'inoculation de 133 [p.175]; c'est aussi le cas du village de Karangasso, situé en bordure d'un cours d'eau sub-permanent, avec 244 piqûres annuelles infectées [p.181].

Dans une région donnée où les paramètres éco-géographiques sont similaires on observe des niveaux de transmission forts différents (Gazin *et al.*, 1985 b); Hamon et Coz (1966) notaient justement que "les généralisations [concernant l'intensité de la transmission] doivent donc être faites avec la plus grande prudence". A l'intérieur du village de Karangasso, dans les chambres à coucher où ont été effectuées les captures nocturnes de moustiques, on a constaté des taux d'inoculation variant de 70 à 400 [p.189]!

Les vecteurs principaux, *A. gambiae*, *A. arabiensis* et *A. funestus* ont des rôles vecteurs complémentaires. La densité d'*A. gambiae s.l.* augmente très rapidement lors des premières pluies, bénéficiant de la brièveté de son développement préimaginal et d'une importante insolation (Holstein, 1954). *A. funestus* prend le relais des populations déclinantes d'*A. gambiae s.l.* depuis le milieu de la saison des pluies jusqu'à ce que les derniers gîtes s'assèchent en saison sèche (Hamon *et al.*, 1956; Brun, 1973; Krafur, 1977; Robert *et al.*, 1988 a [Fig.2, p.185]); il exploite efficacement les gîtes ombragés par la croissance du couvert végétal et les gîtes à végétation dressée.

En général la saison sèche n'empêche pas la survie des vecteurs. Les populations diminuent en effectif mais se maintiennent toute l'année en zone de savane (Muirhead-Thomson, 1968).

Le seul vecteur secondaire qui joue un rôle localement appréciable, exclusivement en saison pluvieuse, est *A. nili* (Hamon & Mouchet, 1961; Service, 1963).

2.2.3. Au sahel

En zone sahélienne les conditions climatiques sont très rudes pendant les 9 mois consécutifs de la saison sèche, mais les pullulations de vecteurs sont habituelles après les pluies importantes.

La transmission est surtout observée en saison pluvieuse mais elle peut se maintenir en saison sèche à proximité des mares plus ou moins permanentes (Hamon *et al.*, 1965; Gazin *et al.*, 1988 b) et des cours d'eau tels que le Niger, le Chari et le Logone (Baudon *et al.*, 1986 a et b) justement là où se concentre à cette époque la population humaine.

Le nombre de piqûres infectées dans la zone sahélienne est d'environ une dizaine, localement davantage là où les gîtes larvaires permettent une production des vecteurs pendant une période plus longue que la courte saison pluvieuse. Vercruysse (1985) trouve de 1 à 7 piqûres infectées par homme et par an dans la région du fleuve au Sénégal..

L'estivation du stade adulte d'*A. gambiae s.l.* a été proposée pour expliquer le maintien sur place de l'espèce sous une forme quiescente en saison sèche en attendant des conditions plus favorables. L'existence d'une telle estivation a été décrite dans les zones sèches du Soudan septentrional pour *A. arabiensis*. Ce dernier présente un stade nullipare pseudo-prégravidé permanent pendant la presque totalité de la saison sèche et mature une seule ponte en plusieurs mois par de multiples repas incomplets de sang (Omer & Cloudsley-Thompson, 1970). Par contre des cycles trophogoniques normaux se déroulent sur les bords du Nil là où les gîtes préimaginaux sont permanents (Dukeen & Omer, 1986). En Afrique de l'Ouest, Holstein (1954) rapporte des observations en faveur de l'existence de cette estivation. Par contre Ramsdale & Fontaine (1970 a et b) n'ont rien observé de comparable.

Il n'est pas exclu que les vents de saison pluvieuse de secteur sud-ouest favorisent des déplacements à grande distance de moustiques issus de zones plus méridionales, un

peu comme pour les simules, à la différence près que ces dernières sont des insectes à activité diurne. Des Touaregs de l'Adrar des Iforhas (Mali) m'ont clairement rapporté une telle observation: d'après leur témoignage, certaines années les moustiques sont apportés par un grand vent du sud peu de temps avant la première pluie.

Beaucoup reste probablement à découvrir en ce domaine.

2.2.4. En rizière

Les rizières font partie des zones agricoles dont l'aménagement hydraulique peut avoir des répercussions profondes sur les maladies à transmission vectorielle (Philippon & Mouchet, 1976), en particulier sur le paludisme (Wilson, 1957; Matola *et al.*, 1987).

Les rizières constituent des gîtes préimaginaux très favorables à *Anopheles gambiae* s.l.. En Afrique de l'Ouest c'est *A. gambiae* forme chromosomique Mopti qui en profite; c'est le cas dans la rizière de la Vallée du Kou au Burkina Faso [p.172]. Dans les zones où la forme chromosomique Mopti d'*A. gambiae* n'est pas présente c'est *A. arabiensis* qui est favorisé; c'est le cas dans les rizières au fil de l'eau de la portion basse du fleuve Sénégal (Petrarca *et al.*, 1987) et en Afrique de l'Est (Service, 1977; Coosemans & Lambin *in* Coosemans *et al.*, 1984).

Dans les rizières d'Afrique de l'Ouest, la production des différentes espèces de moustiques s'échelonne dans le temps (Snow, 1983; Robert *et al.*, 1988 b [p.133]). Cette succession dépend du cycle du riz et se déroule selon une chronologie précise: *A. gambiae* utilise la rizière dès sa mise en eau et pendant le repiquage des jeunes pousses de riz jusqu'à ce que leur croissance fasse obstacle aux rayons du soleil, à ce moment *A. pharoensis* devient l'espèce numériquement la plus nombreuse et profite de la rizière pendant la phase de croissance et la formation de l'épi de riz, enfin *A. coustani* utilise la rizière dans la phase terminale du cycle du riz et durant la récolte. Il n'est pas exclu que cette succession soit valable pour l'ensemble de l'Afrique, une succession voisine d'espèces anophéliennes a aussi été observée au Kenya (Chandler & Highton, 1975). *A. funestus* peut être rencontré en rizière (Hamon *et al.*, 1956) mais il reste numériquement très inférieur à *A. gambiae* s.l.. Il n'a pas été rencontré à l'état larvaire dans les rizières de la Vallée du Kou [p.139]. Au Kenya il ne représentait que 0,3% des moustiques femelles capturés au piège CDC (Chandler & Highton, loc.cit.) et était commun dans les mêmes rizières une trentaine d'années auparavant (Grainger, 1947).

L'augmentation de la densité de vecteurs consécutive à l'établissement d'une rizière se traduit fréquemment par une augmentation du risque palustre et une aggravation de l'endémicité (Surtees, 1970; Coosemans *et al.*, 1984; Robert *et al.*, 1989 a [p.235]). Mais ceci n'est pas un dogme.

L'exemple de la Vallée du Kou au Burkina Faso démontre clairement que la pullulation de vecteurs n'entraîne pas nécessairement une aggravation locale du paludisme (Carnevale & Robert, 1987). Les principales hypothèses pour expliquer ce particularisme épidémiologique ont déjà été exposées (Robert *et al.*, 1986 b); celles qui ont été confirmées sont les suivantes.

La population humaine réagit à la pullulation de moustique en dormant sous moustiquaires. Par ailleurs l'indice gamétocytaire de ces populations est faible pour la région (Robert *et al.* [p.218]).

Dans cette rizière, il existe un lien entre la densité de population et le taux de nulliparité chez *A. gambiae* [Fig.2 p.212 et Fig.2 p.228]; ce fait important reste largement inexpliqué [p.223]; Gillies (1954 b) notait aussi que l'indice sporozoïtique de cette espèce variait inversement avec la densité de population.

La population vectrice est partiellement zoophile; cette zoophilie est probablement proportionnelle à la densité de moustique. Les taux de parturité de la fraction agressive pour l'homme sont particulièrement faibles (Hamon, 1963). Dans ces conditions les indices sporozoïtiques des *A. gambiae* anthropophiles sont faibles et limitent grandement la transmission.

Dans cette zone la quantité de transmission dans le village implanté au centre de la rizière a été estimée à une cinquantaine de piqûres infectées en 1984 [p.175] et à 20 en 1985 lors d'une étude plus poussée (Robert *et al.* [p.209]). Les causes de l'absence d'augmentation de transmission malgré une augmentation de la densité vectrice sont multiples (Robert *et al.* [p.213]); ce fait doit être souligné.

Devant ces constatations simples et cohérentes il serait déplacé d'émettre d'hasardeuses hypothèses mettant en cause, uniquement dans cette rizière, une mauvaise aptitude vectrice de la forme Mopti d'*A. gambiae* (qui est bonne vectrice au laboratoire [Tab.2 p.162]).

2.2.5. En milieu urbain

En zone urbaine d'Afrique tropicale le paludisme fait depuis longtemps l'objet d'enquêtes ponctuelles mais ce n'est que récemment qu'il est devenu un objet d'études à part entière (Bruce-Chwatt, 1983 a), en particulier à Brazzaville, Congo (Trape, 1986), à Bobo-Dioulasso, Burkina Faso (Robert *et al.*, 1986 a; Gazin *et al.*, 1987; Benasseni *et al.*, 1988), à Ouagadougou, Burkina Faso (Sabatinneli *et al.*, 1986 a), à Pikine, Sénégal (Vercruysse *et al.*, 1983) et à Maradi, Niger (Le Bras *et al.*, 1986). Toutes ces études aboutissent à des conclusions voisines.

Le vecteur urbain pratiquement exclusif est *A. gambiae s.l.*; il est le seul à s'y adapter et à s'y maintenir (Hamon *et al.*, 1956; Chinery, 1984). On rencontre plusieurs taxons du complexe *A. gambiae* dans différentes localités: *A. arabiensis* à Pikine, banlieue de Dakar (Vercruysse & Jancloes, 1981) et à Benin City dans le sud du Nigeria (Coluzzi *et al.*, 1979); *A. gambiae* "Mopti" à Ouagadougou (Petrarca *et al.*, 1986), *A. gambiae* "Savane" à Bobo-Dioulasso [p.125] et probablement *A. gambiae* "Forêt" à Yaoundé, à Brazzaville et à Kinshasa (Coene *et al.*, 1987). Il est donc clair qu'il n'existe pas au sein du complexe *A. gambiae* de taxon "spécialiste" du milieu urbain; ce sont les caractéristiques locales qui favorisent une des formes chromosomiques éventuellement présentes dans la région considérée.

Mais les caractéristiques du milieu urbain sont défavorables à la multiplication du seul vecteur qui pénètre en ville: *A. gambiae s.l.*; sa survie semble aussi affectée [p.201]. En effet, l'occupation du sol par les habitations et les hommes ainsi que la pollution des gîtes larvaires potentiels contrarient la multiplication du vecteur. Toutefois les fosses d'emprunt de terre servant de matériaux de construction constituent un cas particulier très favorable à la production des vecteurs.

La transmission du paludisme en ville est une réalité. Elle est cependant très faible et nettement plus basse que dans la zone rurale entourant la ville: elle est fréquemment inférieure à une piqûre annuelle infectée comme il a été observé à Bobo-Dioulasso [p.197], à Ouagadougou (Rossi *et al.*, 1986) et à Brazzaville (Trape & Zoulani, 1987 a). Cependant l'intensité de la transmission est très variable selon les quartiers; elle est inversement proportionnelle au degré d'urbanisation du quartier, lui-même dépendant principalement de son ancienneté (Trape & Zoulani, 1987 b). Ceci ne peut être observé que dans la mesure où l'amplitude de la dispersion du vecteur est faible; elle n'excède pas 300m autour des gîtes larvaires à Ouagadougou (Sabatinneli *et al.*, 1986 b). En général la

transmission diminue de la périphérie de la ville vers le centre à mesure que les conditions deviennent plus défavorables aux vecteurs.

2.3. La transmission et la notion de strate éco-épidémiologique

L'analyse des différences dans les modalités épidémiologiques du paludisme est riche d'enseignements. Le continent africain, par exemple, est fractionnable en trois grandes zones malariologiques: la zone au nord du Sahara presque partout indemne de paludisme, la zone intertropicale et la zone d'Afrique méridionale où l'effet de l'altitude (1000m en moyenne) se cumule à celui de la latitude et détermine un paludisme endémo-épidémique (De Meillon, 1951).

Quelques faciès de la zone intertropicale viennent d'être présentés; d'autres faciès bien identifiés auraient aussi pu être proposés: les oasis des zones désertiques, les lagunes saumâtres des zones côtières, les zones d'altitude en montagne, etc (Carnevale *et al.*, 1988 b). Ces faciès ne doivent pas eux-mêmes être considérés comme des entités homogènes: les conditions locales telles que collection d'eau, présence d'une rivière, nature du terrain, etc, conditionnent grandement les modalités épidémiologiques du paludisme (Robert *et al.*, 1987 b [p.231]). La diversité et le cas d'espèce semblent donc être la règle dans une première approche de la réalité du paludisme (Wéry, 1986). L'hétérogénéité des situations malariologiques est considérable et doit être prise en compte.

Cette hétérogénéité est avant tout la conséquence des facteurs de l'environnement. Ces derniers conditionnent le développement des vecteurs et des parasites, donc la dynamique de la transmission. L'hôte humain réagit à cette agression parasitaire en développant une immunité non stérilisante de type prémunition (Sergent & Sergent, 1950; Miller, 1958; Deschiens & Bénex, 1966) qui agit en retour comme une composante majeure dans la régulation de la transmission, en particulier en diminuant grandement le "réservoir de virus" constitué par les individus adultes. Les interactions environnement-transmission-prémunition déterminent pour une large part les manifestations pathologiques de l'infection.

En complément de l'approche analytique de la diversité des paludismes dans les zones malariologiques, une approche synthétique privilégiant les ressemblances a aussi sa place. Elle s'impose pour donner des repères aux non-spécialistes, pour être efficace dans la définition des stratégies et des moyens de lutte et peut-être aussi pour répondre aux

besoins d'une nouvelle classification. C'est ainsi que le concept de strate éco-épidémiologique a été mis en avant (Orlov *et al.*, 1986). La stratification recouvre la notion de faciès et définit un ensemble de régions dont la ressemblance est jugée suffisante; les critères d'estimation de cette ressemblance ne sont pas limités et intègrent des composantes géographiques, climatiques, écologiques, génétiques, éthologiques et même économiques pour ce qui concerne les moyens de lutte. Cette définition se veut à la fois assez précise pour cerner un contexte écologique particulier et assez souple pour prétendre regrouper des contextes écologiques voisins. C'est surtout dans le domaine de la lutte anti-paludique que la définition des strates présente un intérêt pratique (Fontaine, 1987); les mesures de lutte d'une part et la surveillance du programme de lutte d'autre part se présentent alors dans un cadre clairement défini.

La prise en compte de l'intensité et du rythme de la transmission dans l'établissement des différentes strates est primordiale. La classification de Wilson (*in* Boyd, 1949) était déjà basée sur la dynamique de la transmission et dégagait quatre modalités épidémiologiques principales objectivée par le rythme de la transmission: permanente, saisonnière longue, saisonnière courte et sporadique. C'est à partir de cette classification que la notion de strate a été révisée en Afrique sub-saharienne (Carnevale *et al.*, 1988 b) pour compléter les classifications trop schématiques encore utilisées: la classification anatomo-pathologique de Kampala (1950) basée sur la prévalence des splénomégalias et la classification parasitologique de Yaoundé (1962) basée sur la prévalence parasitaire. Ainsi le polymorphisme des manifestations du paludisme et des situations géographiques est reconnu.

3. La transmission, cible de la lutte contre le paludisme

Avant la découverte de l'agent du paludisme, Hippocrate recommandait déjà de construire les villes loin des marais. L'utilisation de l'écorce d'un arbre à quinquina poussant entre 1000m et 3000m, du Venezuela à la Bolivie, date de 1600. La quinine a été extraite de cet arbre en 1820 et est restée longtemps le seul recours pour le traitement des accès (Bovay, 1972). Dès la fin du 18^{ième} siècle, notamment en France, la régression de l'endémie palustre a été liée à l'amélioration de l'habitat. La lutte antipaludique proprement dite n'a pu débuter qu'aux découvertes de la nature biologique et parasitaire de l'agent du paludisme et surtout de sa transmission par la piqure de l'anophèle femelle.

La plupart des auteurs (Mouchet, 1980; Baudon *et al.*, 1987) distinguent trois périodes dans l'histoire de la lutte antipaludique:

1^o) la période des premières réalisations (de 1897 à 1945).

Des résultats partiels mais positifs ont été obtenus dans des pays tempérés par le drainage des eaux stagnantes et la poursuite de l'amélioration de l'habitat. Les connaissances sur la bio-écologie des vecteurs se sont accumulées.

2^o) la marche vers l'éradication (de 1945 à 1969).

Deux armes efficaces sont devenues disponibles à partir de 1940: les insecticides organochlorés à action rémanente (dieldrine, DDT, etc) et les antipaludéens de synthèse (amino-4-quinoléines, etc). L'idée de l'éradication du parasite est apparue en 1955 lors de l'apparition de résistance des vecteurs en Grèce; on a voulu gagner de vitesse le développement des résistances aux insecticides (Bernard, 1956). Cette idée d'éradication reposait sur la disparition spontanée du *Plasmodium* en l'absence de réinfestation (Macdonald, 1956). Le but à atteindre était l'interruption de la transmission ou à tout le moins sa diminution pour que la prévalence du parasite régresse jusqu'à devenir nulle pendant trois ans (Macdonald & Göckel, 1964). Le moyen était la lutte antivectorielle essentiellement par la pulvérisation de DDT à l'intérieur des habitations.

En pratique l'éradication devait se dérouler en trois phases: 1^o) une phase d'attaque au DDT pour interrompre la transmission pendant trois ans; 2^o) une phase de surveillance active pour traiter les éventuels porteurs de parasites et pour pulvériser au DDT les derniers foyers résiduels; 3^o) une phase de maintenance pour prévenir les introductions et les résurgences du parasite.

L'éradication était une opération conçue pour être limitée dans le temps. C'est précisément ce point qui a séduit les bailleurs de fond (gouvernements - aides bilatérales -

aides internationales); les dépenses pourraient alors être considérées comme des investissements en cas de réussite de l'opération.

Les succès de cette stratégie furent complets dans 37 pays dont l'Europe, l'Est de l'URSS, l'Amérique du Nord, le sud de l'Amérique du Sud, l'Australie, La Corée, Taïwan le Japon, etc; ces succès furent en général obtenus là où le niveau économique était important et à la périphérie de l'aire de distribution de la maladie c'est à dire là où le paludisme était épidémique ou hypoendémique.

En zone intertropicale continentale les résultats furent mitigés et transitoires. En Afrique l'éradication n'a pas été tentée et seuls des projets dans des zones pilotes ont été réalisés: Libéria, Haute Volta, Sud Cameroun, Madagascar, etc. En zone de forêt les résultats ont été bons ou excellents mais en zone de savane ils ont montré l'impossibilité, avec les moyens disponibles, de stopper durablement la transmission (Hamon *et al.*, 1970).

On s'accorde à penser que les causes de la non-réalisation de l'éradication mondiale du paludisme sont diverses.

- *Causes biologiques.* Les résistances des vecteurs aux organochlorés et des parasites aux amino-4-quinoléines sont apparues rapidement. Les traitements au DDT ont aussi rapidement sélectionné les moustiques chez qui le comportement exophile délibéré était le plus marqué (Gillies, 1954 a; Sautet, 1957; Chauvet & Rajaonarivelo, 1973). Cet insecticide possède aussi un effet exito-répulsif qui a exacerbé l'exophilie à tel point que des vecteurs sensibles ont évité le contact avec l'insecticide. La dieldrine par contre n'a pas d'effet répulsif et est restée le plus efficace des insecticides jusqu'à la rapide apparition des résistances.

- *Causes socio-économiques et politiques.* Le manque de personnel et de moyen financier a joué un rôle important. La maladie n'ayant, en général, pas disparu dans les délais prévus les sponsors se sont lassés et les financements nationaux n'ont pu prendre le relais. La problématique de l'éradication n'a pas uniformément été vécue comme une priorité. Les équipes de traitements se sont essouffées. Une partie des populations refusait d'ouvrir leur maisons pour les traitements. Très marginalement l'éradication a pu être ressentie comme une ingérence extérieure.

- *Causes stratégiques.* L'éradication était basée sur le seul pouvoir des insecticides et du traitement intra-domiciliaire. Cette stratégie n'était peut-être pas partout la plus appropriée et les succès enregistrés n'étaient pas forcément extrapolables à d'autres zones. Aldighieri *et al.* (1985) écrivent: "en malariologie la répétition des échecs est souvent la résultante de généralisation prématurées".

A partir de 1968 (congrès de Téhéran) on constate l'impossibilité de l'éradication mondiale du paludisme, telle qu'elle a été définie.

3°) l'ouverture d'une stratégie diversifiée (depuis 1970).

Cette stratégie s'est imposée au vu du bilan de la période précédente à l'issue de laquelle on a cherché une alternative et après quelques hésitations, à partir de 1978, les soins de santé primaires ont servis de cadre à cette nouvelle politique (Bruce Chwatt, 1983 b). Cette dernière est fondée sur une attitude pragmatique et prend en compte d'une part la diversité des situations épidémiologiques, d'autre part la réalité socio-économique des pays où sévit encore le paludisme (Brown *et al.*, 1976; Bruce-Chwatt, 1987). Le traitement des cas de paludisme, avérés ou plus fréquemment présomptifs, est la recommandation la plus fondamentale et à été proposée dès 1974 par un comité d'expert de l'OMS. La multiplication en nombre et en importance des résistances médicamenteuses du parasite est un fait important et nouveau qui complique la lutte contre le paludisme mais qui ne remet pas en cause ce principe de base du traitement des accès (Carnevale et Mouchet, 1986). En 1979 un comité d'expert de l'OMS (Anonyme, 1979) a défini quatre options stratégiques de base "à la carte" en fonction des possibilités locales: 1°) réduction de la mortalité palustre; 2°) = idem 1°) + réduction de la morbidité en particulier pour les groupes à risque comme les femmes enceintes et les jeunes enfants; 3°) = idem 1°) + réduction de la prévalence parasitaire; 4°) lutte "totale" avec l'élimination du parasite comme objectif. La stratification épidémiologique se justifie pleinement dans un tel cadre (Jeffery, 1976; Kouznetsov *et al.*, 1986).

Du niveau très élevé de la transmission dans la plupart des strates épidémiologiques africaines découle une extrême difficulté à réduire la prévalence parasitaire aussi, dans le meilleur des cas, la lutte se borne actuellement à maîtriser la mortalité et la morbidité palustre. Cette perspective est déjà ambitieuse; elle illustre bien la dichotomie entre le paludisme-parasitose et le paludisme-maladie, l'un et l'autre devant être traités par des attitudes préventives ou thérapeutiques différentes.

En Afrique intertropicale le bilan actuel des opérations de lutte menée contre le paludisme est modeste (Hamon *et al.*, 1963). Les stratégies de lutte classiquement préconisées n'ont pas été suivies d'une régression durable de l'endémie (Baudon *et al.*, 1987); là où des succès avaient été enregistrés, l'endémie a retrouvé son niveau antérieur comme au Sud-Cameroun et au Swaziland. Le niveau d'endémie reste très élevé en milieu rural, on pourrait presque dire qu'il est à saturation dans la mesure où il n'est plus la cible des programmes nationaux de contrôle actuellement en cours.

Seul le milieu urbain est le cadre d'une endémie moindre. Ceci n'est toutefois pas le fait de la lutte mais plutôt des modifications écologiques découlant de l'urbanisation.

Au cours de la dernière vingtaine d'années le seul constat encourageant et d'importance primordiale est la réduction de la mortalité apparemment due aux paludismes en Afrique (Duren, 1951; Bruce-Chwatt, 1951; Gramiccia & Hempel, 1972;

Trape, 1986; Carnevale & Vaugelade, 1987). Cette réduction serait une conséquence de l'action des dispensaires et centres de santé ainsi que celle des autotraitements par la nivaquine.

Les réductions faibles de la quantité de transmission dans des zones de haute endémicité ne sont en effet que suivies par de négligeables modifications de l'endémicité (Service, 1976 b). Pour que l'effet sur l'endémicité soit important il faut que la réduction de la transmission soit considérable. Par exemple, dans le village de Djoumouna au Congo, la transmission est une douzaine de fois supérieure à ce qu'elle devrait être pour que le taux de reproduction du parasite soit inférieur à 1 (Carnevale *et al.*, 1982). La relation qui lie la quantité de transmission et l'endémicité palustre n'est pas linéaire. Elle n'a pour le moment pas encore reçue de formulation mathématique; il est pourtant probable qu'elle est d'allure logarithmique exprimant l'existence d'une sursaturation. C'est ce qu'observent Birley & Charlewood (1987) par une analyse originale de la situation palustre dans plusieurs villages de Papouasie-Nouvelle-Guinée. Ces deux auteurs font justement remarquer que l'indice sporozoïtique, utilisé dans le calcul du taux d'inoculation, est une variable liée avec la prévalence humaine du parasite; il en découle une impossibilité de liaison linéaire entre la prévalence et le taux d'inoculation. Krafus et Armstrong (1978) et Gazin *et al.* (1988 c [p.245]) à partir d'une étude longitudinale font le même constat.

Regardant la même situation sous l'angle du risque d'infection, c'est à dire de la probabilité de recevoir moins d'une piqûre infectée par unité de temps, les conclusions relatives à l'importance de l'effort à fournir pour réduire la transmission sont similaires. A Djoumouna, la réduction de 20 fois de la densité imaginaire entraînerait une diminution du risque quotidien de 0,942 à 0,133 (Gazin *et al.*, 1985 a [p.249]); ce risque quotidien correspond à un risque mensuel de 0,986 assimilable à la certitude d'au moins une infection par mois, ce qui reste beaucoup trop si on vise la réduction de l'incidence de la maladie. En d'autres termes la réduction d'un facteur 20 de la transmission (techniquement difficile à obtenir) est insuffisante pour réduire la fréquence du paludisme parasitose.

Pratiquement il en résulte que, dans les zones de haute endémie, les campagnes visant à réduire la transmission du paludisme auront des conséquences sur le niveau d'endémie palustre seulement si elles sont menées à la perfection. Devant un tel constat est-il raisonnable, en Afrique, de préconiser la lutte antipaludique sur la seule base de la réduction de la transmission? Il est clair que non si l'objectif est la réduction de l'endémie. Par contre si l'objectif est la réduction de la morbidité il en va tout autrement.

A bien des égards le paludisme en zone d'endémie se présente comme une maladie de surinfection (Macdonald, 1950, 1968). Les manifestations cliniques du paludisme

sont d'abord la conséquence d'une rupture d'équilibre entre le parasite et la prémunition de son hôte; l'équilibre peut être rompu de multiples façons, entre autre par l'accroissement du nombre de parasites commençant par une augmentation de l'apport en sporozoïtes. Les études épidémiologiques prenant en compte le paramètre "nombre d'accès palustre par homme par unité de temps" sont encore trop rares. Toutefois il semble bien exister un lien entre le nombre de piqûres infectées reçues et la fréquence des accès palustres recensés. L'expérience montre qu'une réduction de la transmission apporte un réel bénéfice sanitaire.

C'est ce qui a été observé avec la pulvérisation intra-domiciliaire de deltaméthrine dans le village de Djoumouna (Bitsindou, 1983).

C'est aussi ce qui a été observé au cours de l'évaluation des conséquences de l'usage collectif de moustiquaires imprégnées d'insecticide dans un village de la région de Bobo-Dioulasso.

3.1. Moustiquaires imprégnées de pyréthriinoïdes

La proposition de l'utilisation de moustiquaire de lit pour se soustraire aux piqûres infectantes des anophèles est ancienne et précède même la découverte de Ross puisque le rôle des moustiques dans la transmission du paludisme était suspecté depuis longtemps (Bovay, 1972).

En Afrique, comme dans la plupart des zones chaudes, les moustiquaires constituent un élément de confort et sont ressenties comme tel: les préférences culturelles de l'utilisation des moustiquaires privilégient nettement la protection contre les piqûres d'insectes par rapport à la prévention du paludisme (MacCormack & Snow, 1986). De fait les moustiquaires sont parfaitement efficaces contre les nuisances occasionnées par les insectes hématophages piquant la nuit et restent encore un des meilleurs moyens de protection du dormeur.

Pourtant les moustiquaires présentent des inconvénients. Elles sont plutôt fragiles. La manière d'utiliser les moustiquaires et leurs états d'usage jouent des rôles essentiels dans l'obtention d'une certaine efficacité (Port & Boreham, 1982). Les gens s'adosent au tulle et sont piqués à travers. De plus certaines personnes refusent les moustiquaires (claustrophobie, chaleur...). Les moustiquaires ne constituent pas un obstacle pour les moustiques quand elles sont utilisées au dessus des nattes: 97% des anophèles femelles étaient gorgés de sang le matin dans les cases-pièges de la station expérimentale de Soumouso où des hommes dormaient à la fois sous moustiquaires et sur des nattes comme c'est l'usage dans cette région (Darriet *et al.*, 1984 [p.261]). Dans les zones de haute endémicité malariologique les moustiquaires ne semblent pas apporter d'avantage en

termes de risque d'infection ni de morbidité (Snow *et al.*, 1988). Dans ces zones elles ne constituent pas à un moyen prophylactique individuel sûr.

L'imprégnation des moustiquaires avec un insecticide a marqué un réel progrès. L'insecticide agit comme une barrière chimique qui pallie en partie la barrière physique déficiente de la moustiquaire mal-utilisée ou en mauvais état. Cet insecticide doit présenter un effet "knock-down" et une longue rémanence; c'est pourquoi ce sont des insecticides de la classe des pyréthrinoïdes tel que la perméthrine et la deltaméthrine qui ont le plus été utilisés (Schreck & Self, 1985). L'imprégnation peut être réalisée par trempage ou par pulvérisation. Dans les deux cas le produit est efficace pendant une année complète sans lavage, dans le cas de la deltaméthrine (Li Zuzi *et al.*, 1987); le lavage élimine une proportion importante de l'insecticide (Snow *et al.*, 1987 a). La nature du tissu est très importante: à doses d'imprégnation identiques une plus grande mortalité des moustiques est observée avec les fibres synthétiques comme le nylon qu'avec les fibres naturelles comme le coton (Hossain *et al.*, 1986). Laveissière *et al.* (1985 et 1987) ont mis en évidence l'importance de la nature de la fibre d'une part dans l'aptitude à fixer l'insecticide, d'autre part dans l'aptitude à présenter l'insecticide à l'insecte.

L'effet répulsif de la perméthrine (Lindsay & Mcandless, 1978; Lines *et al.*, 1987) et de la deltaméthrine (Robert *et al.* [p.293]) ont été mis en évidence. Il augmente avec la dose d'imprégnation au détriment de l'activité insecticide. C'est pourquoi la dose d'imprégnation doit être attentivement déterminée.

Les moustiquaires imprégnées présentent de nombreux avantages. Elles sont sélectives pour les seuls insectes anthropophiles. Elles utilisent une faible quantité d'insecticide. Ce dernier agit avant la piqure des moustiques, ce qui procure d'importants bénéfices à la fois psychologique pour l'utilisateur et entomologique pour prévenir la transmission.

Les moustiquaires imprégnées ne protègent pas les gens pendant la soirée avant qu'ils aillent se coucher. Mais d'une part les gens actifs sont peu piqués par des anophèles et ces derniers interrompent plus fréquemment leur repas de sang, d'autre part les anophèles agressifs dans les premières heures de la nuit sont fréquemment nullipares [p.188] et donc un petit nombre d'entre eux sont infectants [Fig.5, p.192].

Carnevale *et al.* (1988 a) ont distribué des moustiquaires imprégnées de deltaméthrine à tous les habitants d'un quartier spatialement individualisé d'un village au Burkina Faso. L'efficacité des moustiquaires imprégnées comme moyen de lutte anti-anophélienne est bonne: les taux de parturité moyens se sont abaissés de 75% à 39% pour *A.gambiae* et de 77% à 51% pour *A.funestus* respectivement pendant l'année de recueil des données de prétraitement et pendant l'année où les moustiquaires imprégnées ont été distribuées. De même les indices sporozoïtiques moyens ont diminués de 7,4% à 2,0%

pour *A.gambiae* et de 5,0% à 1,9% pour *A.funestus*. Les conséquences sur la transmission du paludisme ont été importantes puisqu'elle a diminué de près de 90% pour des captureurs placés hors moustiquaires, donc de bien davantage pour la population protégée par les moustiquaires imprégnées [p.283 et Fig.1, p.292].

La réduction de la transmission s'est traduite sur les plans parasitologique et clinique: on a constaté une chute drastique des fortes parasitémies; la prévalence et la fréquence des accès palustres confirmés a diminué de 59% [p.285].

Snow *et al.* (1987 b) observent également une réduction de la morbidité sur un échantillon d'enfants en Gambie; Graves *et al.* (1987) obtiennent les mêmes résultats sur des jeunes enfants en Papouasie-Nouvelle-Guinée.

L'efficacité de rideaux de portes et fenêtres ont aussi été testés (Majori *et al.*, 1987).

L'apport essentiel de la moustiquaire imprégnée reste probablement encore à exploiter. En effet, la moustiquaire imprégnée fonctionne comme un piège hautement attractif pour les moustiques appâtés par le dormeur. En ce sens ce piège est novateur par rapport aux classiques pulvérisations d'insecticide sur les murs à l'intérieur des maisons et on est donc en droit d'attendre de l'usage collectif des moustiquaires imprégnées au moins le même impact sur la faune anophélienne que celui des traitements intra-domiciliaires généralisés. Il est clair que l'efficacité d'une telle méthode sera proportionnelle à la perfection de la couverture de la population humaine et à l'échelle du projet pour éviter l'apport de moustiques à partir des zones non traitées. Li Zuzi *et al.* (1988, sous presse) ont obtenu des résultats spectaculaires en protégeant un district de la province chinoise de Guang Dong avec une couverture de plus de 90% des personnes dormant sous moustiquaires. L'usage collectif et généralisé des moustiquaires imprégnées de pyréthrianoïde permet d'envisager l'atteinte du potentiel de transmission du paludisme [p.303]. Il fournit un nouveau moyen de lutte contre les anophèles et constitue probablement à l'heure actuelle une des meilleures méthodes de prévention du paludisme (Mouchet, 1987).

Devant l'infiltration des souches plasmodiales chimiorésistantes à travers tous les continents et devant la pénurie de moyens réalistes de lutte contre le paludisme, un tel fait se doit d'être souligné.

Une question largement ouverte est de savoir si l'avantage que procure les moustiquaires imprégnées est durable. Il est possible que la réduction de la quantité de transmission se traduise par un bénéfice sanitaire uniquement sur un terrain fortement prémuni. Dans une telle hypothèse il est prévisible, à cause même de cette réduction des infestations, que la prémunition diminue avec le temps. Dès lors l'avantage des moustiquaires imprégnées et même de tous progrès de réduction de la transmission

pourrait n'être que temporaire. Seules des études à long terme pourront faire avancer ce point. Le travail d'Otoo *et al.* (1988) en Gambie y apporte indirectement une contribution: deux années de chimioprophylaxie bimensuelle d'une association pyriméthamine-dapsone effectuée sur des enfants de 3 à 5 ans n'empêchent pas le développement d'une immunité protectrice même si les titres d'anticorps anti-palustre diminuent; les enfants sous prophylaxie n'ont pas fait plus d'accès palustres que les témoins lorsque la prophylaxie a cessée.

3.2. La protection contre les anophèles.

La prévention du paludisme en zone de transmission intense est une question dont la complexité voire le caractère insoluble ne fait qu'augmenter. L'énoncé des recommandations de prévention relève d'un spécialiste dont les informations sont périodiquement réactualisées, au moins tous les six mois. Il faut tenir compte de nombreux paramètres: l'intensité de la transmission dans la zone du séjour, la durée du séjour, le niveau présumé de prémunition et les ressources économiques des personnes à protéger, la présence de souches résistances et leurs niveau de résistance (Girard & Le Bras, 1988).

Le champ d'action des médicaments se restreint. La chloroquine, depuis une dizaine d'années, présente une diminution accélérée de son efficacité sur le *Plasmodium* (Bruce-Chwatt *et al.*, 1984; Le Bras & Bouvet, 1988). La multiplication des souches plasmodiales avec une ou plusieurs résistances médicamenteuses oblige à réviser les anciens schémas prophylactiques basés exclusivement sur la prise de chloroquine ou de proguanil, seuls médicaments suffisamment bien tolérés pour être pris régulièrement pendant plusieurs années. En Afrique les zones avec des souches chloroquinorésistantes se multiplient et tendent à se superposer à celles de l'endémie palustre sauf pour une part de l'Afrique sahélienne de l'Ouest et du Centre; c'est dire que dans toutes ces zones de chloroquinorésistance il n'existe actuellement pas de médications idéales permettant de protéger de l'infection les groupes vulnérables que sont les enfants, les femmes enceintes et les individus non-immuns (Laroche *et al.*, 1988). Ce bilan est bien peu encourageant et la question "l'homme contre le paludisme: conquête ou défaite?" posée par Bruce-Chwatt (1979) est de plus en plus d'actualité.

Une conséquence de cet état de fait est le regain d'intérêt qui se porte sur les propositions de la lutte antivectorielle dans son sens le plus large (Pappaionou *et al.*, 1988). Cette lutte cherche à protéger les personnes soit en éliminant les vecteurs soit en élevant une barrière physique ou chimique qui évite les contacts entre les hommes et les vecteurs. Certains moyens utilisés sont anciens comme le pyrèthre et les moustiquaires,

d'autres sont récents comme les moustiquaires imprégnées de pyréthrine et comme certains insecticides de la classe des inhibiteurs de croissance (Hougard, 1986; Darriet *et al.*, 1985 et 1987). Parmi ces moyens, aucun, employés seul, n'apporte de sécurité absolue mais ils permettent ensemble de réduire les risques d'infection dans toutes les situations. Ce risque peut même devenir négligeable pour la plupart de ceux qui séjournent dans des zones à faible transmission, en particulier en zone urbaine africaine. De plus, les mesures préconisées réduisent aussi la nuisance due aux autres insectes hématophages et protègent contre les maladies qu'ils transmettent.

Les recommandations relatives aux séjours de durée inférieure à un mois sont probablement les plus simples et font l'objet d'un mémorandum récemment publié par l'OMS (Anonyme, 1988). Les séjours de longue durée sont traités par Charmot *et al.* (1988) et par Robert *et al.* (1988 d [p.321]).

Les principales mesures individuelles de lutte anti-anophéliennes relèvent:

- de l'aménagement des locaux (Anonyme, 1985),
- l'utilisation des moustiquaires, de préférence imprégnées,
- des pulvérisations intra-domiciliaires avec des insecticides rémanents, en particulier là où il n'y a pas de résistance (Brésil, Guyane, Thaïlande, Mayotte...),
- des pulvérisations spatiales et des sublimations d'insecticides,
- de l'usage des répulsifs.

Un savon contenant un répulsif et de la deltaméthrine a récemment été mis sur le marché. En application directe sur la peau son efficacité est moyenne (Yap, 1986). Comme la mousse du savon ne doit être rincée, nous avons testé ce savon en imprégnation de moustiquaires; l'efficacité n'est pas améliorée et reste insuffisante (Diomandé *et al.* [p.305]).

3.3. Le vaccin anti-transmission

Les premiers travaux révélant que l'immunisation anti-gamètes pouvait réussir à bloquer la transmission ont été réalisés sur des poulets infectés par *P. gallinaceum* (Gwatz, 1976; Carter & Chen, 1976; Carter *et al.*, 1979 a et b). Des travaux similaires ont ensuite été réalisés sur des singes infectés par *P. knowlesi* (Gwatz & Green, 1978; Gwatz *et al.*, 1979) et sur des souris infectées par *P. yoelii* (Mendis & Targett, 1979 et 1981).

La culture *in vitro* du parasite a permis d'aborder ce thème de recherche sur la plus importante espèce plasmodiale humaine: *P. falciparum*. La production en grande quantité de gamétocytes synchronisés et parfaitement infectants pour le moustique (Ponnudurai *et al.*, 1986) a été une étape importante qui a autorisé des études

biochimiques et immunologiques indispensables à l'élaboration d'un vaccin bloquant la transmission.

Ce vaccin a pour cible les stades parasitaires extra-cellulaires suivants: les gamètes mâles et femelles, les zygotes et les ookinètes dans l'estomac du moustique. Les autres stades ne peuvent pas servir de cible; en effet, les gamétocytes et les ookinètes ayant traversés la paroi stomacale du moustique sont difficilement accessibles car ils sont protégés respectivement par les membranes plasmiques des hématies qu'ils parasitent et par la paroi stomacale. Les anticorps produits par le vertébré immunisé sont ingérés par le moustique avec le sang et les gamétocytes. Ces derniers, aussitôt dans l'estomac du moustique se transforment en gamètes et deviendraient sensibles aux anticorps (Meuwissen & Ponnudurai, 1986). Le transfert de l'infection de l'homme vers le moustique serait empêché; c'est ainsi que le cycle du *Plasmodium* serait interrompu. Le moustique n'étant pas infecté, ses piqûres ultérieures ne seront donc pas infectantes.

Le vaccin anti-transmission ne profite pas directement à celui qui est vacciné dans la mesure où ce vaccin, chez l'homme vacciné, n'empêche pas l'infection ni le cycle asexué du parasite. C'est, du côté du parasite, le même principe que le "house spraying" au DDT dans l'éradication du paludisme puisque l'anophèle entraine le plus souvent en contact avec l'insecticide après la piqûre. Le vaccin protège indirectement contre l'infection dans la mesure où la totalité de la collectivité est efficacement vaccinée et où le "réservoir de virus" infectant est neutralisé. Un tel vaccin pourrait devenir un moyen de lutte supplémentaire pour réduire la transmission dans une zone donnée; il présenterait un intérêt tout particulier en association avec un autre vaccin anti-sporozoïtes ou anti-stades asexués érythrocytaires.

A l'heure actuelle, parmi les différents vaccins anti-palustres possibles (sporozoïtes, stades schizogoniques érythrocytaires, stades sexués) c'est le vaccin anti-gamétocytes dont la recherche est la moins avancée (Dubois & Pereira da Silva, 1988).

Il a été démontré pour *P. falciparum* que certains motifs antigéniques sont caractéristiques des stades macrogamète, zygote et ookinète; ces antigènes sont synthétisés durant la gamétocytogenèse (Vermeulen *et al.*, 1986). La transmission peut être bloquée par des anticorps spécifiques agissant sur les zygotes et les ookinètes déjà formés (Vermeulen *et al.*, 1985). Le rapport entre le nombre de gamétocytes et la concentration en anticorps est essentiel pour le blocage de l'infection du moustique (Ponnudurai *et al.*, 1987).

Certaines infections naturelles à *P. vivax* déclenchent une réponse immune humorale supprimant complètement l'infectivité des stades sexués pour le moustique (Mendis *et al.*, 1987). Cet effet est observé avec des fortes concentrations d'anticorps; au contraire, avec une faible concentration une augmentation de la proportion de moustiques infectés est observée (Malik Peiris *et al.*, 1988). La prise en compte d'une immunité

bloquant la transmission semble nécessaire pour décrire correctement l'évolution d'une épidémie à *P. vivax* (de Zoysa *et al.*, 1988).

Le mécanisme effecteur du blocage immunologique de la transmission dépend des anticorps. Mais la phagocytose de gamètes de *P. falciparum* a été décrite à l'intérieur de l'estomac du moustique (Sinden & Smalley, 1976); le rôle des lymphocytes T dans la réduction du nombre de gamétocytes circulants de *P. yoelii nigeriensis* a également été souligné (Harte *et al.*, 1985). Il en résulte que la médiation cellulaire pourrait avoir un rôle important dans la réponse immune stimulée dans le but de bloquer la transmission.

La recherche de vaccin contre le paludisme a fait d'incontestables progrès dans un passé récent (Meuwissen, 1984; Miller *et al.*, 1986). Plusieurs mécanismes immunitaires ont été isolés (Cohen *et al.*, 1974; Aikawa *et al.*, 1979; Grau *et al.*, 1987). Une certitude existe: il n'est pas envisageable de proposer des vaccins antipalustre à usage humain autre que ceux produits par génie génétique ou par synthèse chimique (Dubois & Pereira da Silva, *loc.cit.*). Ceci repousse dans le temps le moment où un vaccin efficace, bien toléré et utilisable sur le terrain serait disponible (Bruce-Chwatt, 1986; Anonyme, 1986).

L'espoir de posséder un jour une arme vaccinale contre le paludisme ne justifie pas l'abandon des recherches en cours dans tous les domaines de la paludologie. Le contexte socio-économique et épidémiologique d'une partie de l'Afrique est tel qu'il y a peu de chance pour que les vaccins, au moins dans leurs formes actuellement envisagées, constituent l'arme absolue contre le paludisme.

Conclusion

Dans les zones rurales d'Afrique intertropicale le paludisme est une véritable composante de l'environnement. L'intensité de sa transmission est très variable mais personne n'y échappe et chaque sujet est infecté plusieurs fois par an.

Dans les zones urbaines la transmission est nettement moins forte.

Une relation existe entre les modalités de la transmission et les manifestations de la maladie. Cette relation est complexe; en particulier aucune proportionnalité *directe* n'est observée entre la quantité de transmission et la gravité de la maladie. Ceci est dû en partie au fait que la transmission stimule les défenses immunitaires et permet l'établissement d'un équilibre dynamique entre l'homme et son parasite (MacGregor, 1983). C'est pourquoi une importante réduction de la transmission est suivie par une modeste amélioration de l'état sanitaire palustre de la population (Payne *et al.*, 1976).

L'étude des relations transmission-prémunition-maladie constituent actuellement un des axes les plus fructueux de la recherche en paludologie de terrain.

La participation des populations concernées par un projet de lutte contre le paludisme est indispensable (Rajagopalan & Paniker, 1986). Il faut exploiter le fait que la lutte contre le paludisme est un thème particulièrement mobilisateur (Bonnet, 1986), probablement davantage que d'autres objectivement plus importants car à mortalité supérieure.

Les moyens de lutte les plus simples contre le paludisme sont quand même efficaces. La pulvérisation intra-domiciliaire d'insecticides rémanents a largement prouvé son efficacité par le passé; cette méthode reste valable dans de nombreuses strates éco-épidémiologiques et devrait être davantage utilisée. Les moustiquaires imprégnées de pyréthrinoïdes apportent un réel bénéfice et sont un outil nouveau à la disposition des hygiénistes. Elles protègent individuellement chaque dormeur et surtout elles constituent un moyen collectif de lutte contre les vecteurs quand elles sont employées par tous les membres d'une communauté; ceci quel que soit le niveau d'endémie. Des enquêtes ont montré que les moustiquaires sont surtout employées pour soustraire le dormeur à la nuisance constituée par les piqûres d'insectes. La protection contre le paludisme n'est qu'une motivation très secondaire. Un travail considérable reste à accomplir dans le domaine de l'éducation sanitaire mais une demande de confort existe et peut servir de base à une promotion plus large de l'usage des moustiquaires imprégnées.

La recherche de terrain sur le paludisme doit continuer à se consacrer aux méthodes de lutte en prenant en compte tous les facteurs qui en relèvent: technique, économique, politique, éthique et anthropologique.

- Les difficultés techniques doivent être résolues pour pouvoir proposer de nouvelles solutions efficaces. Les méthodes qui ont déjà fait leurs preuves doivent être améliorées et adaptées aux différentes situations épidémiologiques.
- Le choix d'une stratégie de lutte dépend étroitement des ressources économiques.
- La volonté politique est indispensable pour appliquer la stratégie sanitaire choisie.
- Les problèmes éthiques sont omniprésents en matière de paludisme. Dans ce domaine une difficulté particulière réside d'une part dans le souci de préserver la prémunition, d'autre part dans le fait que toute action de lutte diminue cette prémunition en proportion de sa réussite. Il en résulte que les programmes de lutte doivent prévoir, lors de leurs achèvements, des modalités particulières pour protéger les populations.
- L'indispensable acceptation d'une stratégie de lutte par les populations concernées est conditionnée par leurs valeurs et leurs modes de pensée.

L'approche pluridisciplinaire de ce problème majeur de santé publique est plus que jamais de rigueur.

Il ne faut pas abandonner l'espoir d'en finir définitivement avec le paludisme. Une telle perspective ne saurait être un objectif à court terme. Le réalisme oblige à n'attendre aucun moyen révolutionnaire de lutte (vaccin "parfait"?) qui serait prochainement mis à disposition des responsables sanitaires. Il est donc probable que les données de la situation palustre ne s'amélioreront durablement en Afrique intertropicale que lorsque le processus de développement, dans lequel cette dernière est engagée, aura abouti. Une attitude purement attentiste serait condamnable car beaucoup peut et doit être entrepris tout de suite pour diminuer grandement la morbidité et la mortalité dues au paludisme.

Références bibliographiques

- Adam J.-P. - Note faunistique et biologique sur les anophèles de la région de Yaoundé et la transmission du paludisme en zone forestière du Sud Cameroun. *Bull. Soc. Path. exot.*, 1956, 49: 210-220.
- Aikawa M., Carter R., Ito Y. & Nijhout M.M. - New observations on gametogenesis, fertilization, and zygote transformation in *Plasmodium gallinaceum*. *J. Protozool.*, 1984, 31: 403-413.
- Aikawa M., Cochrane A.H., Nussenzweig R.S. & Rabbege J. - Freeze-fracture study of malaria sporozoites: antibody-induced changes of pellicular membrane. *J. Protozool.*, 1979, 26: 273-279.
- Aldighieri R., Aldighieri J., Oudot R. & San Marco J.L. - Evolution des campagnes de lutte contre le paludisme de 1897 à nos jours. *Méd. trop.*, 1985, 45: 9-18.
- Al Mashhadani H.M. - Selections of *Anopheles gambiae* A for susceptibility and refractoriness to malaria parasites. *Trans. Roy. trop. Med. Hyg.*, 1974, 68: 267-268.
- Ambroise-Thomas P. - La réaction d'immunofluorescence dans l'étude séro-épidémiologique du paludisme. *Bull. Org. mond. Santé*, 1974, 50: 267-276.
- Anonyme - *Expert committee on malaria seventeenth report*. Techn. Rep. Ser. n°640. WHO, Geneva, 1979.
- Anonyme - Manuel de l'aménagement de l'environnement en vue de la démoustication eu égard plus spécialement aux vecteurs du paludisme. OMS publication offset n°66, 1985, pp.291.
- Anonyme - Principes d'expérimentation des vaccins antipaludiques: mémorandum d'une réunion de l'OMS. *Bull. Org. mond. Santé*, 1986, 64: 525-546.
- Anonyme - *The biology of malaria parasites* Techn. Rep. Ser. n°743. WHO, Geneva, 1987, pp.229.
- Anonyme - Development of recommendations for the protection of short-stay travellers to malaria endemic areas: memorandum from two WHO meetings. *Bull. Org. mond. Santé*, 1988, 66: 177-196.
- Bailey N.T.J. - *The biomathematics of malaria*. Charles Giffin & Company, London, 1982, pp.210.
- Baudon D., Carnevale P., Robert V., Peyron F., Sibi Sona L. & Gniminou L. - Etude épidémiologique du paludisme dans la région de Tillabéri, nord-ouest du Niger. *Méd. Afr. noire*, 1986 a, 33: 281-290.
- Baudon D., Carnevale P., Ambroise-Thomas P. & Roux J. - La lutte antipaludique en Afrique: de l'éradication du paludisme au contrôle des paludismes. *Rev. Epidém. Santé publ.*, 1987, 35: 401-415.
- Baudon D., Robert V., Darriet F. & Huerre M. - Impact de la construction d'un barrage avec retenue d'eau sur la transmission du paludisme; enquête paludologique menée dans le sud-est de la Mauritanie. *Bull. Soc. Path. exot.*, 1986 b, 79: 123-129.
- Beier M., Schwartz I., Beier J., Perkins P., Onyango F., Koros J., Campbell G., Andrysiak P., Brandling-Bennett A. - Identification of malaria species by ELISA in sporozoite and oocyst infected *Anopheles* from Western Kenya. *Am. J. trop. Med. Hyg.*, 1988, 39: 323-327.
- Bekessy A., Molineaux L. & Storey J. - Estimation of incidence and recovery rates of *Plasmodium falciparum* parasitaemia from longitudinal data. *Bull. Org. mond. Santé*, 1976, 54: 685-693.
- Benasseni R., Gazin P., Carnevale P. & Baudon D. - Le paludisme urbain à Bobo-Dioulasso, Burkina Faso; 3, Etude de la morbidité palustre. *Cah. ORSTOM Sér. Ent. méd. Parasitol.*, 1987, 25: 165-170.
- Benzerroug E.H. & Wery M. - Séroépidémiologie du paludisme au niveau d'un foyer résiduel en Algérie: commune de Khemis El Kechna. *Rev. Epidém. Santé publ.*, 1985, 33: 276-282.
- Bernard P.M. - La lutte contre le paludisme en Afrique tropicale. *Bull. Org. mond. Santé*, 1956, 15: 627-634.
- Birley M.H. & Charlewood J.D. - Sporozoite rate and malaria prevalence. *Parasitol. Today*, 1987, 3: 231-232.

- Bitsindou G.G.P. - *Impact des traitements insecticides (deltaméthrine) sur la transmission du paludisme et sa morbidité dans un village des environs de Brazzaville, Congo*. Thèse 3^e cycle, Université de Paris-Sud, Centre d'Orsay, 1983, pp.101.
- Bonnet D. - Représentations culturelles du paludisme chez les Moose du Burkina. Doc. multigraph. ORSTOM, Ouagadougou, 1986, pp.64.
- Boudin C., Robert V., Verhave J.P., Carnevale P. & Meuwissen J.H.E.T. - Utilisation de la technique ELISA dans le dépistage des moustiques infectés par *Plasmodium falciparum*. *Bull. Org. mond. Santé*, 1988, 66: 87-97.
- Bovay G.M. - *Malaria. L'épopée du paludisme*. Denoël, Paris, 1972: pp.314.
- Boyd M.F. - On the correlation between the incidence of stomach and gland infection in *Anopheles quadrimaculatus* infected with *Plasmodium vivax*. *Am. J. trop. Med.*, 1940, 20: 129-131.
- Boyd M.F. et al. - *Malariology. A comprehensive survey of all aspects of this group of diseases from a global standpoint*. Saunders company, Philadelphia and London, 1949, pp.1643.
- Brandicourt O., Druilhe P., Brasseur P., Turk P., Diquet B., Datry A., Danis M. & Gentilini M. - High level of chloroquine resistance in seven *Plasmodium falciparum* cases from the Congo and Gabon. *Trans. R. Soc. trop. Med. Hyg.*, 1986, 80: 906-907.
- Brandicourt O. & Gentilini M. - Risques d'infection à *Plasmodium falciparum* chimiorésistant selon la densité et l'infectivité anophéliennes; application à l'Afrique de l'Ouest et du Centre. *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, 1987, 67: 229-237.
- Bray R.S., MacRae A.W.R. & Smalley M.E. - Lack of a circadian rythm in the ability of the gametocytes of *Plasmodium falciparum* to infect *Anopheles gambiae*. *Int. J. Parasitol.*, 1976, 6: 399-401.
- Bryan J.H., Petrarca V., Di Deco M.A. & Coluzzi M. - Adult behaviour of members of the *Anopheles gambiae* complex in The Gambia with special references to *A. melas* and its chromosomal variants. *Parassitologia*, 1987, 29: 221-249.
- Bregues J. & Coz J. - Quelques aspects fondamentaux de la biologie d'*Anopheles gambiae* Giles (Sp.A) et d'*A. funestus* Giles, en zone de savane humide d'Afrique de l'Ouest. *Cah. ORSTOM Sér. Ent. méd. Parasitol.*, 1973, 11: 107-126.
- Brown A.W.A., Haworth J. & Zahar A.R. - Malaria eradication and control from a global standpoint. *J. Med. Entomol.*, 1976, 13: 1-25.
- Bruce-Chwatt L.J. - Malaria in Nigeria. *Bull. Org. mond. Santé*, 1951, 4: 301-327.
- Bruce-Chwatt L.J. - Man against malaria: conquest or defeat. *Trans. R. Soc. trop. Med. Hyg.*, 1979, 73: 605-617.
- Bruce-Chwatt L.J. - Paludisme et urbanisation. *Bull. Soc. Path. exot.*, 1983 a, 76: 243-249.
- Bruce-Chwatt L.J. - Malaria control and primary health care: or the art of squaring the circle. *Bull. Soc. Path. exot.*, 1983 b, 76: 477-485.
- Bruce-Chwatt L.J. - Malaria vaccine trials: a guided sted into the unknown. *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, 1986, 66: 5-13.
- Bruce-Chwatt L.J. - Malaria and its control: present situation and future prospects. *Ann. Rev. publ. Health*, 1987, 8: 75-110.
- Bruce-Chwatt L.J., Black R.H., Canfield C.J., Clyde D.F., Peters W. & Wensdorfer W.H. - *Chimiothérapie du paludisme*. OMS, Genève, 2^{ième} éd., 1984, pp. 274.
- Brun L.O. - *Contribution à l'étude biologique et écologique des vecteurs majeurs de paludisme en Afrique de l'Ouest*. Thèse d'ingénieur, Faculté des Sciences biologiques de l'Université de Rennes, juin 1973, pp.223.
- Burkot T.R. - Non-random host selection by anopheline mosquitoes. *Parasitol. Today*, 1988, 4: 156-162.
- Burkot T.R., Graves P.M., Cattan J.A., Wirtz R.A. & Gibson F.D. - The efficiency of sporozoite transmission in the human malaras *Plasmodium falciparum* and *P. vivax*. *Bull. Org. mond. Santé*, 1987, 65: 375-380.

- Burkot T.R., Graves P.M., Paru R., Wirtz R.A., Heywood P.F. - Human malaria transmission studies in the *Anopheles punctulatus* complex in Papua New Guinea: sporozoite rates, inoculation rates, and sporozoite densities. *Am. J. trop. Med. Hyg.*, 1988, 39: 135-144.
- Burkot T.R., Zavala F., Gwatz R.W., Collins F.H., Nussenzweig R.S. & Roberts D.R. - Identification of malaria-infected mosquitoes by a two-site enzyme-linked immunosorbent assay. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 1984, 33: 227-231.
- Buxton P.A. - The effect of *Proteosoma* upon the survival of *Culex*. *Parasitol.*, 1935, 27: 547-550.
- Carnevale P. - Variations saisonnières d'une population d'*Anopheles nili* en R.P. du Congo. *Cah. ORSTOM Sér. Ent. méd. Parasitol.*, 1974, 12: 165-174.
- Carnevale P. - Le paludisme dans un village des environs de Brazzaville (R.P. Congo). Thèse, Université de Paris Sud, Centre d'Orsay, 1979.
- Carnevale P. & Boreham P.F.L. - Etudes des préférences trophiques d'*Anopheles nili*. *Cah. ORSTOM Sér. Ent. méd. Parasitol.*, 1978, 16: 17-22.
- Carnevale P., Bosseno M.-F., Zoulani A., Michel R. & Molez J.-F. - La dynamique de la transmission du paludisme humain en zone des environs nord et sud de Brazzaville, R.P. du Congo. *Cah. ORSTOM Sér. Ent. méd. Parasitol.*, 1985, 23: 95-115.
- Carnevale P., Frezil J.-L., Bosseno M.-F., Le Pont F. & Lancien J. - Etude de l'agressivité d'*Anopheles gambiae* A en fonction de l'âge et du sexe des sujets humains. *Bull. Org. mond. Santé*, 1978, 56: 147-154.
- Carnevale P., Lallemand M., Molinier M., Mouchet J. & Coz J. - L'évaluation des seuils critiques de transmission du paludisme en zone d'endémie stable. *Rev. Epidém. Santé publ.*, 1982, 30: 49-70.
- Carnevale P. & Mouchet J. - Prospects for malaria control. *Proc. Six. Int. Congr. Parasitol.*, Howell M.J. Ed., Canberra, 1986: 181-187.
- Carnevale P. & Robert V. - Introduction of irrigation in Burkina Faso and its effect on malaria transmission. In *Effects of agricultural development on vector-borne diseases*. FAO, 1987, AGL / MISC / 12 / 87: 57-67.
- Carnevale P., Robert V., Boudin C., Halna J.-M., Pazart L., Gazin P., Richard A. & Mouchet J. - La lutte contre le paludisme par des moustiquaires imprégnées de pyrèthrynoïdes au Burkina Faso. *Bull. Soc. Path. exot.*, 1988 a, à paraître.
- Carnevale P., Robert V., Gazin P., Boudin C., Richard A., Molez J.-F., Chippaux J.-P. & Mouchet J. - Les principaux faciès épidémiologiques des paludismes en Afrique sub-saharienne. *Bull. IFAN Sér. A*, 1988 b, à paraître.
- Carnevale P. & Vaugelade J. - Paludismes, morbidité palustre et mortalité infantile et juvénile en Afrique sub-saharienne. WHO / MAL / 87.1036.
- Carter R. & Chen D.H. - Malaria transmission blocked by immunisation with gametocytes of the malaria parasite. *Nature*, 1976, 263: 57-60.
- Carter R. & Gwatz R.W. - Infectiousness and gamete immunization in malaria. In: Kreier ed. *Malaria*, vol.3, Academic Press, New York, 1980, pp. 263-297.
- Carter R., Gwatz R.W. & Green I. - *Plasmodium gallinaceum*: transmission-blocking immunity in chickens. 2. The effect of antigamete antibodies *in vitro* and *in vivo* and their elaboration during infection. *Exp. Parasitol.*, 1979 a, 47: 194-208.
- Carter R., Gwatz R.W., MacAuliffe F.M. - *Plasmodium gallinaceum*: transmission-blocking immunity in chickens. 1. Comparative immunogenicity of gametocyte and gamete containing preparations. *Exp. Parasitol.*, 1979 b, 47: 185-193.
- Cavalié Ph. & Mouchet J. - Les campagnes expérimentales d'éradication du paludisme dans le nord de la république du Cameroun. *Méd. trop.*, 1961, 21: 847-870 et 1962, 22: 95-118.
- Chandler J.A. & Highton R.B. - The succession of mosquito species in rice fields in the Kisumu area of Kenya, and their possible control. *Bull. Ent. Res.*, 1975, 65: 295-302.
- Charmot G., Mouchet J. & Coulaud J.-P. - Prévention du paludisme. *Rev. Prat. (Paris)*, 1988: 38, 18: 1180-1185.

- Charmot G. & Rodhain F. - La chimio-résistance chez *Plasmodium falciparum*; analyse des facteurs d'apparition et d'extension. *Méd. trop.*, 1982, 42: 417-426.
- Chauvet G., Coz J. & Grenier P. - Relations entre l'âge physiologique et le comportement des moustiques. *Cah. ORSTOM Sér. Ent. méd. Parasitol.*, 1965, 3 et 4: 103-109.
- Chauvet G., Gillies M.-T., Coz J., Adam J.-P. & Mouchet J. - Ecologie, physiologie et comportement des vecteurs du paludisme humain et animal en région éthiopienne. *Cah. ORSTOM Sér. Ent. méd. Parasitol.*, 1968, 6: 265-272.
- Chauvet G. & Rajaonarivelo E. - Modification de comportement d'une espèce et variation de la composition d'une population appartenant au complexe *A. gambiae* pendant et après des pulvérisations d'insecticides domiciliaires dans les environs de Tananarive, Madagascar. *Cah. ORSTOM Sér. Ent. méd. Parasitol.*, 1973, 11: 155-167.
- Chinery W.A. - Effects of ecological changes on the malaria vectors *Anopheles funestus* and the *A. gambiae* complex of mosquitoes in Accra, Ghana. *J. trop. Med. Hyg.*, 1984, 87: 75-81.
- Christie M. - A critical review of the role of the immature stages of anopheline mosquitoes in the regulation of adult numbers, with particular reference to *Anopheles gambiae*. *Trop. Dis. Bull.*, 1959, 56: 385-399.
- Cianchi R., Villani F., Touré Y.T., Petrarca V. & Bullini L. - Electrophoretic study of different chromosomal forms within *Anopheles gambiae* s.s.. *Parassitologia*, 1983, 25: 239-241.
- Coene J., Ngimbi N.P., Mandiangu M. & Mulumba M.P. - Note sur les anophèles à Kinshasa, Zaire. *An. Soc. belge Méd. trop.*, 1987, 67: 375-379.
- Cohen S., Butcher G.A. & Mitchell G.H. - Mechanisms of immunity to malaria. *Bull. Org. mond. Santé*, 1974, 50: 251-257.
- Collins F.H., Gwadz R.W., Koontz L.C., Zavala F. & Nussenzweig R.S. - Laboratory assessment of a species-specific radioimmunoassay for the detection of malaria sporozoites in mosquitoes (*Diptera: Culicidae*). *J. Med. Entomol.*, 1985, 22: 121-129.
- Collins F.H., Mendez M.A., Rasmussen M.O., Mehaffey P.C., Besansky N.J. & Finnerty V. - A ribosomal RNA gene probe differentiates member species of the *Anopheles gambiae* complex. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 1987, 37: 37-41.
- Collins F.H., Procell P.M., Campbell G.H. & Collins W.E. - Monoclonal antibody-based enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) for detection of *Plasmodium malariae* sporozoites in mosquitoes. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 1988, 38: 283-288.
- Collins W.E., Nguyen-Dinh P., Skinner J.C. & Sutton B.B. - Infectivity of a strain of *Plasmodium falciparum* from Hainan, People's Republic of China, to different anophelines. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 1981, 30: 538-540.
- Coluzzi M. - Cromosomi politenici delle cellule nutrici ovariche nel complesso *gambiae* del genere *Anopheles*. *Parassitologia*, 1968, 9: 73-88.
- Coluzzi M., Petrarca V. & Di Deco M.A. - Chromosomal inversion intergradation and incipient speciation in *Anopheles gambiae*. *Boll. Zool.*, 1985, 52: 45-63.
- Coluzzi M., Sabatini A., Petrarca V. & Di Deco M.A. - Chromosomal differentiation and adaptation to human environments in the *Anopheles gambiae* complex. *Trans. R. Soc. trop. Med. Hyg.*, 1979, 73: 483-497.
- Coosemans M., Wery M., Storme B., Hendrix L. & Mfisi B. - Epidémiologie du paludisme dans la plaine de la Ruzizi, Burundi. *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, 1984, 64: 135-158.
- Corradetti A., Di Delepis G.L.D., Palmieri C. & Piccione G. - Modello sperimentale, relizzato con *Plasmodium gallinaceum* e *Anopheles stephensi*, per selezionare popolazioni di plasmodio adatte a vivere in un vettore apparentemente refrattario, e per selezionare popolazioni di vettore suscettibili a un plasmodio apparentemente inadatto a vivere in esso. *Parassitologia*, 1970, 12: 81-89.
- Coz J. - Contribution à l'étude du complexe *Anopheles gambiae*; répartition géographique et saisonnière en Afrique de l'Ouest. *Cah. ORSTOM Sér. Ent. méd. Parasitol.*, 1973, 11: 3-31.

- Coz J., Hamon J., Sales S., Eyraud M., Brengues J., Subra R. & Accrombessi R. - Etudes entomologiques sur la transmission du paludisme humain dans une zone de forêt humide dense, la région de Sassandra, République de Côte d'Ivoire. *Cah. ORSTOM Sér. Ent. méd. Parasitol.*, 1966, 7: 13-42.
- Coz J. & Picq J.-J. - Etude en laboratoire de la réceptivité à *Laveriana falcipara* d'*Anopheles gambiae* A et d'*Anopheles gambiae* B. *Bull. Soc. Path. exot.*, 1972, 65: 668-675.
- Coz J., Picq J.-J. & Ricossé J.-H. - Sporogonie chez *Anopheles gambiae* A de souches de *Plasmodium falciparum* résistantes à la pyriméthamine. *Bull. Soc. Path. exot.*, 1970, 63: 201-208.
- Danis M., Jeannel D. & Brücker G. - Epidémiologie du paludisme en France. *Rev. Prat. (Paris)*, 1988, 38, 18: 1151-1153.
- Darriet F., Carnevale P. & Robert V. - Laboratory and field evaluation of the activity of an ecdysoid-type insect growth inhibitor, triflumuron (OMS-2015) on *Culex quinquefasciatus*, *Anopheles gambiae* and *Aedes aegypti*. Organisation mondiale de la santé, 1985, WHO / VBC / 85.916.
- Darriet F., Robert V. & Carnevale P. - Evaluation de trois inhibiteurs de croissance, deux ecdysoïdes et un juvénoïde, dans la lutte contre *Culex quinquefasciatus*. *Cah. ORSTOM Sér. Ent. méd. Parasitol.*, 1987, 25: 119-126.
- Darriet F., Robert V., Tho Vien N. & Carnevale P. - Evaluation de l'efficacité sur les vecteurs du paludisme de la perméthrine en imprégnation sur des moustiquaires intacts et trouées. Organisation mondiale de la santé, 1984, WHO / VBC / 84.899 ou WHO / MAL / 84.1008.
- Daskova N.G. & Rasnitsyn S.P. - Review of data on susceptibility of mosquitos in the USSR to imported strains of malaria parasites. *Bull. Org. mond. Santé*, 1982, 60: 893-897.
- Davidson G. - Further studies of the basic factors concerned in the transmission of malaria. *Trans. R. Soc. trop. Med. Hyg.*, 1955, 49: 339-349.
- Davidson G. - *Anopheles gambiae* complex. *Nature*, 1962, 196: 907.
- Davidson G. - Une méthode de lutte génétique contre *Anopheles gambiae*. *Ann. Parasito. hum. comp.*, 1971, 46: 149-163.
- Day J.F. & Edman J. - Malaria renders mice susceptible to mosquito feeding when gametocytes are most infective. *J. Parasitol.*, 1983, 69: 163-170.
- Deschiens R. & Bénex J. - Immunité naturelle, prémunition et immunité résiduelle dans le paludisme. *Bull. Soc. Path. exot.*, 1966, 59: 570-583.
- De Buck A. & Swellengrebel N.H. - On the seasonal longevity of *Anopheles maculipennis* in Holland with reference to their ability to act as malarial vectors. *Comp. Rend. heb. Séan. Acad. Sciences Paris*, 1935, 186: 329-331.
- Del Giudice G., Engers H.D., Tougne C., Biro S.S., Weiss N., Verdini A.S., Pessi A., Degremont A.A., Freyvogel T.A., Lambert P.-H. & Tanner M. - Antibodies to the repetitive epitope of *Plasmodium falciparum* circumsporozoite protein in rural tanzanian community: a longitudinal study of 132 children. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 1987, 36: 203-212.
- De Meillon B. - Malaria survey of South-West Africa. *Bull. Org. mond. Santé*, 1951, 4: 333-417.
- Dubois Ph. & Pereira da Silva L. - Vaccination contre le paludisme: état actuel et perspectives. *Rev. Prat. (Paris)*, 1988, 38, 18: 1173-1177.
- Dukeen M.Y.H. & Omer S.M. - Ecology of the malaria vector *Anopheles arabiensis* by the Nile in the northern Sudan. *Bull. Ent. Res.*, 1986, 76: 451-467.
- Duren A.N. - Essai d'étude sur l'importance du paludisme dans la mortalité au Congo Belge. *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, 1951, 31: 129-147.
- Dye C. - Vectorial capacity: must we measure all its components. *Parasitology Today*, 1986, 2, 8: 203-209.
- Elliot R. - The influence of vector behavior on malaria transmission. *Am. J. trop. Med. Hyg.*, 1972, 21: 755-763.
- Escudie A., Hamon J. & Godin J. - Le paludisme et l'importance de sa transmission dans la région de Man, République de Côte d'Ivoire. *Riv. Malariologia*, 1962, 41: 3-22.

- Esposito F., Lombardi S., Touré Y.T., Zavala F. & Coluzzi M. - Field observation on the use of anti-sporozoite monoclonal antibodies for determination of infection rates in malaria vectors. *Parassitologia*, 1986, 28: 69-77.
- Feldman A. & Ponnudurai T. - Selection in *Anopheles stephensi* for susceptibility and refractoriness to *Plasmodium falciparum* and genetic analysis of the selected lines. 3^e conférence internationale sur le paludisme et les babésioses, 7-11 septembre 1987, Annecy, France, p.158.
- Fontaine R. - Integrated vector control and selection of measures suitable for specific epidemiological conditions. WHO / MAL / 87.1034.
- Fontaine R.E., Najjar A.E. & Prince J.S. - The 1958 malaria epidemic in Ethiopia. *Am. J. trop. Med. Hyg.*, 1961, 10: 795-803.
- Fox R.M. - *Anopheles gambiae* in relation to malaria and filariasis in coastal Liberia. *Am. J. trop. Med. Hyg.*, 1957, 6: 598-620.
- Fox R.M. & Weiser J. - A microsporidian parasite of *Anopheles gambiae* in Liberia. *J. Parasitol.*, 1959, 45: 21-30.
- Freier J.E. & Friedman S. - Effects of host infection with *Plasmodium gallinaceum* on the reproductive capacity of *Aedes aegypti*. *J. Invert. Pathol.*, 1976, 28: 161-166.
- Freyvogel T.A. - A propos des relations hôte /parasites entre moustiques et *Plasmodium*. *Cah. ORSTOM Sér. Ent. méd. Parasitol.*, 1980, 18: 171-176.
- Gad A.M., Maier W.A. & Piekarski G. - Pathology of *Anopheles stephensi* after infection with *Plasmodium berghei berghei*. I.Mortality rate. *Zeitsch. Parasitenk.*, 1979, 60: 249-261.
- Gale K.R. & Crampton J.M. - DNA probes for species identification of mosquitoes in the *Anopheles gambiae* complex. *Med. Veter. Entomol.*, 1987 a, 1: 127-136.
- Gale K.R. & Crampton J.M. - A DNA probe to distinguish the species *Anopheles quadriannulatus* from other species of the *Anopheles gambiae* complex. *Trans. R. trop. Med. Hyg.*, 1987 b, 81: 842-846.
- Garnham P.C.C. - Malaria epidemics at exceptionally high altitude in Kenya. *Brit. Med. J.*, 1945, jully 14: 45-47.
- Garnham P.C.C. - The incidence of malaria at high altitudes. *J. Nat. Mal. Soc.*, 1948, 7: 275-284.
- Garrett-Jones C. - Prognosis for interruption of malaria transmission through assessment of the mosquito's vectorial capacity. *Nature*, 1964 a, 19: 1173-1175.
- Garrett-Jones C. The human blood index of malaria vector in relation to epidemiological assessment. *Bull. Org. mond. Santé*, 1964 b, 30: 241-261.
- Garrett-Jones C. & Shidrawi G.R. - Malaria vectorial capacity of a population of *Anopheles gambiae*; an exercise in epidemiological entomology. *Bull. Org. mond. Santé*, 1969, 40: 531-545.
- Gazin P., Cot M., Robert V. & Bonnet D. - La perception du paludisme en Afrique au sud du Sahara. *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, 1988 a, 68: 1-3.
- Gazin P., Cot M., Sana S., Halna J.M., Pazart L., Legrand D., Boillot F., Robert V. & Carnevale P. - La part du paludisme dans les consultations d'un dispensaire sahélien. *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, 1988 b, 68: 15-24.
- Gazin P., Robert V., Akogbeto M. & Carnevale P. - Réflexions sur les risques d'infection palustre selon la densité et l'infectivité anophéliennes. *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, 1985 a, 65: 263-269.
- Gazin P., Robert V. & Carnevale P. - Etude longitudinale des indices paludologiques de deux villages de la région de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, 1985 b, 65, suppl.2: 181-186.
- Gazin P., Robert V. & Carnevale P. - Le paludisme urbain à Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. 2. Les indices paludologiques. *Cah. ORSTOM Sér. Ent. méd. Parasitol.*, 1987, 25: 27-31.
- Gazin P., Robert V., Cot M. & Carnevale P. - *Plasmodium falciparum* incidence and patency in a high seasonal transmission area of Burkina Faso. *Trans. R. trop. Med. Hyg.*, 1988 c, 82: 50-55.
- Gentilini M. & Danis M. - Le paludisme autochtone. *Méd. Mal. infect.*, 1981, 11: 356-362.

- Gentilini M. & Duflo B. *et al.* - Paludisme, in *Médecine tropicale*, Flammarion Médecines-Sciences, Paris, 3^e éd., 1982: 83-109.
- Gillies M.T. - Studies of house leaving and outside resting of *Anopheles gambiae* and *A.funestus* in East Africa. *Bull. Ent. Res.*, 1954 a, 45: 361-373.
- Gillies M.T. - The recognition of age-groups within populations of *Anopheles gambiae* by the pre-gravid rate and the sporozoite rate. *Ann. trop. Med. Parasitol.*, 1954 b, 48: 58-74.
- Gillies M.T. & De Meillon B. - *The Anophelinae of Africa south of the Sahara*. South African Institute for Medical Research n°54, Johannesburg, 2nd ed., 1968: pp.343.
- Gillies M.T. & Coetzee M. - *A supplement to The Anophelinae of Africa south of the Sahara*. South African Institute for Medical Research n°55, Johannesburg, 1987: pp.143.
- Girard P.M. & Le Bras J. - Les limites de la prophylaxie du paludisme en 1988; des objectifs individuels mais aussi collectifs. *Rev. Prat. - Med. gén.*, 1988, n°23: 8-12.
- Gordon R.M. & Lumsden W.H.R. - A study of the behaviour of the mouth-parts of mosquitoes when taking up blood from living tissue; together with some observations on the ingestion of microfilariae. *Ann. trop. Med. Parasitol.*, 1939, 33: 259-278.
- Grainger W.E. - The experimental control of mosquito breeding in rice fields in Nyanza Province, Kenya, by intermittent irrigation and other methods. *East Afr. med. J.*, 1947, 24: 16-22.
- Gramiccia G. & Hempel J. - Mortality and morbidity from malaria in countries where malaria eradication is not making satisfactory progress. *J. trop. Med. Hyg.*, 1972, 75: 187-192.
- Grau G.E., Del Giudice G. & Lambert P.-H. - Host immune response and pathological expression in malaria: possible implications for malaria vaccines. *Parasitology*, 1987, 94: S123-S137.
- Graves P.M. - Studies on the use of a membrane feeding technique for infecting *Anopheles gambiae* with *Plasmodium falciparum*. *Trans. R. Soc. trop. Med. Hyg.*, 1980, 74: 738-742.
- Graves P.M., Brabin B.J., Charlwood J.D., Burkot T.R., Cattani J.A., Ginny M., Paino J., Gibson F.D. & Alpers M.P. - Reduction in incidence and prevalence of *Plasmodium falciparum* in under-5-year-old children by permethrin impregnation of mosquito nets. *Bull. Org. mond. Santé*, 1987, 65: 869-877.
- Griffiths R.B. & Gordon R.M. - An apparatus which enables the process of feeding by mosquitoes to be observed in the tissues of a live rodent; together with an account of the ejection of saliva and its significance in malaria. *Ann. trop. Med. Parasitol.*, 1952, 46: 311-319.
- Gwadz R.W. - Malaria: successful immunization against the sexual stages of *Plasmodium gallinaceum*. *Science*, 1976, 193: 1150-1151.
- Gwadz R.W., Carter R. & Green I. - Gamete vaccines and transmission-blocking immunity in malaria. *Bull. Org. mond. Santé*, 1979, 57, suppl.1: 175-180.
- Gwadz R.W. & Green I. - Malaria immunization in rhesus monkeys: a vaccine effective against both the sexual and asexual stages of *Plasmodium knowlesi*. *J. Exp. Med.*, 1978, 148: 1311-1323.
- Hamon J. - Etude de l'âge physiologique des femelles d'anophèles dans les zones traitées au DDT, et non traitées de la région de Bobo-Dioulasso, Haute-Volta. *Bull. Org. mond. Santé*, 1963, 28: 83-109.
- Hamon J., Adam J.-P. & Grjebine A. - Observation sur la répartition et le comportement des anophèles de l'Afrique Equatoriale française, du Cameroun et de l'Afrique Occidentale. *Bull. Org. mond. Santé*, 1956, 15: 549-591.
- Hamon J. & Coz J. - Epidémiologie générale du paludisme humain en Afrique Occidentale. Répartition et fréquences des parasites et des vecteurs et observations récentes sur quelques-uns des facteurs gouvernant la transmission de cette maladie. *Bull. Soc. Path. exot.*, 1966, 59: 466-483.
- Hamon J., Coz J., Sales S. & Ouédraogo C. - Etudes entomologiques sur la transmission du paludisme humain dans une zone de steppe boisée, la région de Dori, République de Haute-Volta. *Bull. IFAN Sér. A*, 1965, 27: 1115-1150.

- Hamon J., Dedewanou B. & Eyraud M. - Etudes entomologiques sur la transmission du paludisme humain dans une zone forestière africaine, la région de Man, République de Côte d'Ivoire. *Bull. IFAN Sér. A*, 1962, 24: 854-879.
- Hamon J., Choumara R., Ricosse J., Adam J.-P. & Bailly H. - Le paludisme dans la zone pilote de Bobo-Dioulasso, Haute-Volta. *Cahiers de l'ORSTOM*, n°1, 1959, pp.125.
- Hamon J., Grjebine A., Adam J.P., Chauvet G., Coz J. & Gruchet H. - Les méthodes d'évaluation de l'âge physiologique des moustiques. *Bull. Soc. Entomol. France*, 1961, 66: 137-161.
- Hamon J. & Mouchet J. - Les vecteurs secondaires du paludisme humain en Afrique. *Méd. trop.*, 1961, 21: 643-660.
- Hamon J., Mouchet J., Brengues J. & Chauvet G. - Problems facing anopheline vector control; vector ecology and behavior before, during, and after application of control measures. *Miscellan. Pub. Entomol. Soc. Amer.*, 1970, 1: 28-44.
- Hamon J., Mouchet J., Chauvet G. & Lumaret R. - Bilan de 14 années de lutte contre le paludisme dans les pays francophones d'Afrique tropicale et à Madagascar; considérations sur la persistance de la transmission et perspectives d'avenir. *Bull. Soc. Path. exot.*, 1963, 56: 933-971.
- Harte P.G., Rogers N.C. & Targett G.A.T. - Role of T-cells in preventing transmission of rodent malaria. *Immunology*, 1985, 56:1-7.
- Holstein M. - Biology of *Anopheles gambiae* in Upper-Volta, West Africa. *Monograph Ser. W.H.O.*, 1954, n°9, pp.176.
- Hommel M. et al. - Surface alterations of erythrocytes in *Plasmodium falciparum* malaria. Antigenic variation, antigenic diversity, and role of spleen. *J. exp. Med.*, 1983, 157: 1137-1148.
- Hossain M.I., Curtis C.F., Smith M.D. & Ellis S. - Laboratory studies of permethrin impregnated nets and their effects on mosquitoes. *Trans. R. Soc. trop. Med. Hyg.*, 1986, 80: 842-843.
- Hougard J.M. - Lutte contre les simules et les moustiques en Afrique de l'Ouest: évaluation dans des conditions naturelles de l'efficacité de nouveaux larvicides, agents de lutte biologique et analogues de régulateurs de croissance. Thèse de doctorat de l'Université Paris VI, 1986.
- Hudson A., Bowman L. & Orr C.W.M. - Effects of absence of saliva on blood feeding by mosquitoes. *Science*, 1960, 131: 1730-1731.
- James S.P. et al. - A study of induced malignant tertian malaria. *Proc. Roy. Soc. Medecine*, 1932, 25: 1153-1186.
- Jeannel D., Bard D. & Gentilini M. - Le paludisme d'importation en France en 1984 et 1985. *Ann.Soc.belge Méd. trop.*, 1987, 67: 117-127.
- Jeffery G. - Malaria control in the twentieth century. *Am. J. trop. Med. Hyg.*, 1976, 25: 361-371.
- Jeffery G. & Eyles DnE. - Infectivity to mosquitoes of *Plasmodium falciparum* as related to gametocyte density and duration of infection. *Am. J. trop. Med. Hyg.*, 1955, 4: 781-789.
- Kitzmiller J.B. - Genetic control of mosquitoes. *Am. J. trop. Med. Hyg.*, 1972, 21: 764-771.
- Klein T.A. Harrison B.A., Grove J.S., Dixon S.V. & Andre R.G. - Correlation of survival rates of *Anopheles dirus* A with different infection densities of *Plasmodium cynomolgi*. *Bull. Org. mond. Santé*, 1986, 64: 901-907.
- Kouznetsov R.L., Molineaux L. & Beales P.F. - Stratification of malaria situations in tropical Africa for the development of malaria control within the primary health care strategy. WHO / MAL / 86.1028.
- Krafsur E.S. - The bionomics and relative prevalence of *Anopheles* species with respect to the transmission of *Plasmodium* to man in Western Ethiopia. *J. Med. Entomol.*, 1977, 14: 180-194.
- Krafsur E.S. & Armstrong J.C. - An integrated view of entomological and parasitological observations on falciparum malaria in Gambela, western Ethiopian lowlands. *Trans. R. Soc. trop. Med. Hyg.*, 1978, 72: 348-355.
- Lackie A.M. - Immune mechanisms in insects. *Parasitol. Today*, 1988, 4: 98-105.
- Languillon J., Mouchet J., Rivola E. & Rateau J. - Contribution à l'étude de l'épidémiologie du paludisme dans la région forestière du Cameroun. *Méd. trop.*, 1956, 16: 347-379.

- Laroche R., Coosemans M., Floch J.-J. & Ndabaneze E. - Nouvelles stratégies de lutte contre le paludisme à *Plasmodium falciparum* en zone de résistances aux amino-4-quinoléines. *Méd. trop.*, 1988, 48: 133-138.
- Laveissière C., Couret D., Manno A. & Küpper W. - Tests d'efficacité et de rémanence d'insecticides utilisés en imprégnation sur tissus pour la lutte par piégeage contre les glossines. 2. Première série de tests en saison humide et en saison sèche. *Cah. ORSTOM Sér. Ent. méd. Parasitol.*, 1985, 23: 217-230.
- Laveissière C., Couret D. & Manno A. - Importance de la nature des tissus dans la lutte par piégeage contre les glossines. *Cah. ORSTOM Sér. Ent. méd. Parasitol.*, 1987, 25: 133-143.
- Le Berre R. - Les membranes péritrophiques chez les arthropodes; leur rôle dans la digestion et leur intervention dans l'évolution d'organismes parasites. *Cah. ORSTOM Sér. Ent. méd. Parasitol.*, 1967, 5: 149-204.
- Le Bras J. & Bouvet E. - Chloroquine et paludisme; la fin d'une panacée. *Rev. Prescrire*, 1988, 8, 73: 135-141.
- Le Bras J., Simon F., Ramanamirija J.A., Calmel M.B., Hatin I., Deloron P., Porte J., Marchais H., Clausse J.L., Biaud J.M., Sarrouy J., Guigumde T.R., Carme B., Charmot G., Coulaud J.P. & Coulanges P. - Sensibilité de *Plasmodium falciparum* aux quinoléines et stratégies thérapeutiques: comparaison de la situation en Afrique et à Madagascar entre 1983 et 1986. *Bull. Soc. Path. exot.*, 1987, 80: 477-489.
- Le Bras M., Soubiran G., Baraze A., Meslet B., Combe A., Giap G. & Fabre A. - Paludisme urbain et rural au Niger; le cas du département de Maradi. *Bull. Soc. Path. exot.*, 1986, 79: 695-706.
- Lindsay I.S. & Mcandless J.M. - Permethrin-treated jackets versus repellent-treated jackets and hoods for personal protection against black flies and mosquitoes. *Mosq. News*, 1978, 38: 350-356.
- Lines J.D., Myamba J. & Curtis C.F. - Experimental huts trials of permethrin-impregnated mosquito nets and eave curtains against malaria vectors in Tanzania. *Med. Vet. Entomol.*, 1987, 1: 37-51.
- Livadas G., Mouchet J., Gariou J. & Chastang R. - Peut-on envisager l'éradication du paludisme dans la région forestière du Sud-Cameroun? *Rivist. Malariol.*, 1958, 37: 229-256.
- Li Zuzi, Xu Jinjiang, Li Bangquan, Zhu Taihua & Li Mingxin - Mosquito nets impregnated with deltamethrin against malaria vectors in China. WHO / VBC / 87.939.
- Lombardi S., Esposito F., Zavala F., Lamizana L., Rossi P., Sabatinelli G., Nussenzweig R.S. & Coluzzi M. - Detection and anatomical localization of *Plasmodium falciparum* circumsporozoite protein and sporozoites in Afrotropical malaria vector *Anopheles gambiae* s.l.. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 1987, 37: 491-494.
- Lusetti-Lyannaz J. - Les sporozoïtes de *Plasmodium falciparum*. Obtention par infections artificielles d'*Anopheles gambiae* et utilisation comme antigène en immunofluorescence. Diplôme de Recherche en Pharmacie, présenté à l'Université de Grenoble le 30 Septembre 1985, pp. 197.
- MacBride J.S., Walliker D. & Morgan G. - Antigenic diversity in the human malaria parasite. *Science*, 1982, 217: 254-257.
- MacCarthy V.C. & Clyde D.F. - Comparative efficiency of *Anopheles stephensi* and *A. gambiae* as vectors of drug-resistant *Plasmodium falciparum* from Thailand. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 1974, 23: 313.
- MacCormack C.P. & Snow R.W. - Gambian cultural preferences in the use of insecticide-impregnated bed nets. *J. trop. Med. Hyg.*, 1986, 89: 295-302.
- Macdonald G. - The analysis of infection rates in diseases in which superinfection occurs. *Trop. Dis. Bull.*, 1950, 47: 907-915.
- Macdonald G. - The analysis of the sporozoite rate. *Trop. Dis. Bull.*, 1952, 49: 569-585.
- Macdonald G. - The measurement of malaria transmission. *Proc. Roy. Soc. Med.*, 1955, 48: 295-301.
- Macdonald G. - Theory of the eradication of malaria. *Bull. Org. mond. Santé*, 1956, 15: 369-387.
- Macdonald G., Cuellar C.B. & Foll C.V. - The dynamics of malaria. *Bull. Org. mond. Santé*, 1968, 38: 743-755.
- Macdonald G. & Göckel G.W. - The malaria parasite rate and interruption of transmission. *Bull. Org. mond. Santé*, 1964, 31: 365-377.

- MacGregor I. - Current concepts concerning man's resistance to infection with malaria. *Bull. Soc. Path. exot.*, 1983, 76: 433-445.
- Mack S.R., Samuels S. & Vanderberg J.P. - Hemolymph of *Anopheles stephensi* from uninfected and *Plasmodium berghei*-infected mosquitoes. 2. Free amino acids. *J. Parasitol.*, 1979, 65:130-136.
- Mack S.R. & Vanderberg J.P. - Hemolymph of *Anopheles stephensi* from noninfected and *Plasmodium berghei*-infected mosquitoes. 1. Collection procedure and physical characteristics. *J. Parasitol.*, 1978, 64: 918-923.
- Mahon R.J., Green C.A. & Hunt R.H. - Diagnostic allozymes for routine identification of adults of the *Anopheles gambiae* complex. *Bull. ent. Res.*, 1976, 66: 25-31.
- Maier W.A. - Über die mortalität von *Culex pipiens fatigans* nach infektion mit *Plasmodium cathemerium*. *Zeitsch. Parasiten.*, 1973, 41: 11-28.
- Maier W.A., Becker-Feldman H. & Seitz H.M. - Pathology of malaria-infected mosquitoes. *Parasitol. Today*, 1987, 3: 216-218.
- Malik Peiris J.S., Premawansa S., Ranawaka M., Udagama P., Munasinghe Y., Nanayakkara M., Priyantha Gamage C., Carter R., David P.H., Mendis K. - Monoclonal and polyclonal antibodies both block and enhance transmission of human *Plasmodium vivax* malaria. *Am. J. trop. Med. Hyg.*, 1988, 39: 26-32.
- Matola Y.G., White G.B. & Magayuka S.A. - The changed pattern of malaria endemicity and transmission at Amani in the eastern Usambara mountains, north-eastern Tanzania. *J. trop. Med. Hyg.*, 1987, 90: 127-134.
- Mattingly P.F. - Studies on West African forest mosquitos. Part 1. The seasonal distribution, biting cycle and vertical distribution of four of the principal species. *Bull. Ent. Res.*, 1949, 40: 149-168.
- Mattingly P.F. - *The biology of mosquito-borne disease*. J.D. Carthy & J.F. Sutcliffe Ed., London, 1969, pp.184.
- Meis J.F.G.M. & Ponnudurai T. - Ultrastructural studies on the interaction of *Plasmodium falciparum* ookinetes with the midgut epithelium of *Anopheles stephensi* mosquitoes. *Parasitol. Res.*, 1987, 73: 500-506.
- Mellink J.J. & Van Den Bovenkamp W. - Functional aspects of mosquito salivation in blood feeding of *Aedes aegypti*. *Mosq. News*, 1981, 41: 115-119.
- Mendis K.N., Munasinghe Y.D., De Silva Y.N.Y., Keragalla I. & Carter R. - Malaria transmission-blocking immunity induced by natural infections of *Plasmodium vivax* in humans. *Infect. Immunity*, 1987, 55: 369-372.
- Mendis K.N. & Targett G.A.T. - Immunisation against gametes and asexual erythrocytic stages of a rodent malaria parasite. *Nature*, 1979, 277: 389-391.
- Mendis K.M. & Targett G.A.T. - Immunization to produce a transmission-blocking immunity in *Plasmodium yoelii* malaria infections. *Trans. R. Soc. trop. Med. Hyg.*, 1981, 75: 158-159.
- Meuwissen J.H.E.T. - Development of malaria vaccines reviewed. *Acta Leidensia*, 1984, 52: 19-30.
- Meuwissen J.H.E.T. & Ponnudurai T. - Some aspects of transmission blocking immunity reviewed. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz*, Rio de Janeiro, 1986, 81, suppl. 2: 69-75.
- Micks D.W., Rehmet A., Jennings J., Mason G. & Davidson G. - A chromatographic study of the systematic relationship within the *Anopheles gambiae* complex. *Bull. Org. mond. Santé*, 1966, 35: 181-187.
- Miles S.J. - Enzyme variation in the *Anopheles gambiae* Giles group of species. *Bull. ent. Res.*, 1978, 68: 85-96.
- Miller L.H., Howard R.J., Carter R., Good M.F., Nussenzweig V. & Nussenzweig R.S. - Research toward malaria vaccines. *Science*, 1986, 234: 1349-1356.
- Miller M.J. - Observations on the natural history of malaria in the semi-resistant West African. *Trans. R. Soc. trop. Med. Hyg.*, 1958, 52: 152-168.
- Molez J.F., Carnevale P., Sanderson A. & Bosséno M.F. - Variations enzymatiques chez *Plasmodium falciparum* à Brazaville, R.P. du Congo. *Cah. ORSTOM Sér. Ent. méd. Parasitol.*, 1984, 22: 35-42.

- Molineaux L. & Gramiccia G. - Le projet Garki. Recherche sur l'épidémiologie du paludisme et la lutte anti-paludique dans la savane soudanienne de l'Afrique Occidentale. OMS Ed., Genève, 1980.
- Molyneux D.H. & Jefferies D. - Feeding behaviour of pathogen-infected vectors. *Parasitol.*, 1986, 92: 721-736.
- Mouchet J. - Influences de fleuves sur la biologie d'*Anopheles gambiae* pendant la saison sèche dans le Sud-Cameroun. *Bull. Soc. Path. exot.*, 1962, 55: 1163-1171.
- Mouchet J. - Les problèmes épidémiologiques posés par les maladies à vecteur dans les zones de forêt dense africaine: influence des changements d'environnement. *Wiadomosci Parazytologiczne*, 1976, 22: 557-567.
- Mouchet J. - Lutte contre les vecteurs et nuisances en santé publique. *Encycl. Méd. Chir. Paris. Maladies infectieuses*, 1980, 8120 B10, 3, pp.16.
- Mouchet J. - Deltamethrin impregnated bed nets, an alternative for mosquito and malaria control. 8^e congreso latinoamericano de parasitologia i congreso guatemalteco de parasitologia y medica tropical. Guatemala, Nov 17-22, 1987, p.201.
- Mouchet J. & Gariou J. - Exophilie et exophagie d'*Anopheles gambiae* dans le Sud Cameroun. *Bull. Soc. Path. exot.*, 1957, 50: 446-461.
- Mouchet J. & Gariou J. - *Anopheles moucheti* au Cameroun. *Cah. ORSTOM Sér. Ent. méd. Parasitol.*, 1966, 4: 71-81.
- Mpofu S.M. - Seasonal vector density and disease incidence patterns of malaria in an area of Zimbabwe. *Trans. R. Soc. trop. Med. Hyg.*, 1985, 79: 169-175.
- Muench H. - Catalytic models in epidemiology. Harvard Univ. Presss, 1959.
- Muirhead-Thomson R.C. - The malaria infetivity of an african village population to mosquitoes (*A.gambiae*). *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 1957, 6: 971-979.
- Muirhead-Thomson R.C. - *Ecology of insect populations*. Academic Press, London & New York, 1968, pp.174.
- Nardin E.H. & Nussenzweig R.S. - Stage-specific antigens on the surface membrane of sporozoites of malaria parasites. *Nature*, 1978, 274: 55-57.
- Nijhout M.M. - *Plasmodium gallinaceum*: exflagellation stimulated by a mosquito factor. *Exp. Parasitol.*, 1979, 48: 75-80.
- Omer S.M. & Cloudsley-Thompson J.L. - Survival of female *Anopheles gambiae* s.l. trough a nine month dry season in Soudan. *Bull. Org. mond. Santé*, 1970, 42: 319-330.
- Orlov V.S., Semashko I.N., Arsenyeva L.P., Shakhova M.A. & Yefremov S.B. - The concept of stratification of territories and its pratical implications. WHO / MAL / 86.1032.
- Otoo L.N., Snow R.W., Menon A., Byass P. & Greenwood B.M. - Immunity to malaria in yong Gambian children after a two-year period of chemoprophylaxis. *Trans. R. Soc. trop. Med. Hyg.*, 1988, 82: 59-65.
- Pampana E.J. - *A textbook of malaria eradication*. London, Oxford University Press, 1963, p.82.
- Pappaioanou M., Lobel H.O. & Campbell C.C. - A quantitative approach to recommendations on malaria prophylaxis. *Bull. Org. mond. Santé*, 1988, 66: 477-484.
- Payne D. - Spread of chloroquine resistance in *Plasmodium falciparum*. *Parasitol. Today*, 1987, 3: 241-246.
- Payne D., Grab B., Fontaine R.E. & Hempel J.H.G. - Impact of control measures on malaria transmission and general mortality. *Bull. Org. mond. Santé*, 1976, 54: 369-377.
- Peters W. - Studies on the epidemiology of malaria in New-Guinea. Part I. Holoendemic malaria- The clinical picture. *Trans. R. Soc. trop. Med. Hyg.*, 1960, 54: 242-260.
- Peters W. - The problem of drug resistance in malaria. *Parasitology*, 1985, 90: 705-715.
- Petrarca V., Petrangeli G., Rossi P. & Sabatinelli G. - Etude chromosomique d'*Anopheles gambiae* et *A.arabiensis* dans la ville de Ouagadougou, Burkina Faso. *Parassitologia*, 1986, 28: 41-61.

Petrarca V., Vercruysse J. & Coluzzi M. - Observations on the species of the *Anopheles gambiae* complex in the Senegal River Basin. *Med. Veter. Entomol.*, 1987, 1: 303-312.

Philippon B. & Mouchet J. - Répercussions des aménagements hydrauliques à usage agricole sur l'épidémiologie des maladies à vecteurs en Afrique Intertropicale. Colloque international: l'eau et les activités agricoles. Paris, 3-5 mars 1976. Cah.CENECA, 3213, 1-14.

Philips A., Milligan P.J., Coluzzi M., Touré Y., Broomfield G. & Molyneux D.H. - Studies on the chromosomal forms of *Anopheles gambiae* s.s. and *A.arabiensis* using cuticular hydrocarbon analysis. 3^e conférence internationale sur le paludisme et les babésioses, 7-11 septembre 1987, Annecy, France, p.164.

Ponnudurai T., Lensen A.H.W., Van Gemert G.J.A., Bensink M.P.E., Pool G., Esposito F., Lombardi S. & Meuwissen J.H.E.T. - Aspects of sporogony of *Plasmodium falciparum* of relevance to the epidemiology of malaria. 3^e conférence internationale sur le paludisme et les babésioses, 7-11 septembre 1987, Annecy, France, p.165.

Ponnudurai T., Lensen A.H.W., Meis J.F.G.M. & Meuwissen J.H.E.T. - Synchronisation of *Plasmodium falciparum* gametocytes using an automated suspension culture system. *Parasitology*, 1986, 93: 263-274.

Ponnudurai T., Van Gemert G.J., Bensink T., Lensen A.H.W. & Meuwissen J.E.H.T. - Transmission blockade of *Plasmodium falciparum*: its variability with gametocyte numbers and concentration of antibody. *Trans. R. Soc. trop. Med. Hyg.*, 1987, 81: 491-493.

Port G.R. & Boreham P.F.L. - The effect of bed nets on feeding by *Anopheles gambiae*. *Bull. Ent. Res.*, 1982, 72: 483-488.

Port G.R., Boreham P.F.L. & Bryan J.H. - The relationship of host size to feeding by mosquitoes of the *Anopheles gambiae* complex. *Bull. Ent. Res.*, 1980, 70: 133-144.

Pringle G. - A quantitative study of naturally- acquired malaria infections in *Anopheles gambiae* and *Anopheles funestus* in a highly malarious area of East Africa. *Trans. R. Soc. trop. Med. Hyg.*, 1966, 60: 626-632.

Raccaud-Schoeller J. - *Les insectes, physiologie, développement*. Masson, Paris, 1980, pp.295.

Rajagopalan P.K. & Panicker K.N. - Lutte antivectorielle: comment se faire accepter et appuyer par la collectivité. *Chronique O.M.S.*, 1986, 40: 203-206.

Ramkaran A.E. & Peters W. - Infectivity of chloroquine resistant *Plasmodium berghei* to *Anopheles stephensi* enhanced by chloroquine. *Nature*, 1969, 223: 635-636.

Ramsdale C.D. & Coluzzi M. - Studies on the infectivity of tropical african stains of *Plasmodium falciparum* to some southern european vectors of malaria. *Parassitologia*, 1975, 17: 39-48.

Ramsdale C.D. & Fontaine R.E. - Ecological investigations of *Anopheles gambiae* and *A.funestus*. 1.Dry season studies in villages near Kaduna, Nigeria. WHO / VBC / 70.248 ou WHO / MAL / 70.735.

Ramsdale C.D. & Fontaine R.E. - Ecological investigations of *Anopheles gambiae* and *A.funestus*. 2.Dry season studies with colony-reared *Anopheles arabiensis*, Kaduna, Nigeria. WHO / VBC / 70.249 ou WHO / MAL / 70.736.

Richard A. - Aspects épidémiologiques et cliniques du paludisme dans les villages de la forêt du Mayombe, R.P. du Congo. Thèse médecine, Université René Descartes, Paris, 1983.

Ribero J.M.C. - Role of saliva in blood-feeding by arthropods. *Ann. Rev. Entomol.*, 1987, 32: 463-478.

Robert V., Boussinesq M., Boudin C., Conan H., Darriet F. & Carnevale P. - Réceptivité à *Plasmodium falciparum* d'*Anopheles gambiae* soumis à *Bacillus thuringiensis* sérotype H 14 ou à *Bacillus sphaericus*. *Cah. ORSTOM Sér. Ent. méd. Parasitol.*, 1987 a, 25: 63-68.

Robert V. & Carnevale P. - Les vecteurs des paludismes en Afrique subsaharienne. *Etudes médicales*, juin 1984, n° 2: 79-90.

Robert V., Carnevale P., Ouédraogo V., Petrarca V. & Coluzzi M. - La transmission du paludisme humain dans un village de savane du sud-ouest du Burkina Faso. *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, 1988 a, 68 (2), 107-121.

- Robert V., Gazin P., Boudin C., Molez J.-F., Ouédraogo V. & Carnevale P. - La transmission du paludisme en zone de savane arborée et en zone rizicole des environs de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, 1985, 65, Suppl.2: 201-214.
- Robert V., Gazin P. & Carnevale P. - Malaria transmission in three sites surrounding the area of Bobo-Dioulasso, Burkina Faso: the savanna, a rice field, and the city. *Bull. Soc. Vector Ecol.*, 1987 b, 12: 541-543.
- Robert V., Gazin P. & Carnevale P. - De la difficulté de prévoir les répercussions sanitaires des aménagements hydroagricoles; le cas du paludisme dans la rizière de la Vallée du Kou au Burkina Faso. Ouvrage de synthèse ORSTOM *Le risque en agriculture*, 1989 a, à paraître.
- Robert V., Ouary B., Ouédraogo V. & Carnevale P. - La succession des espèces anophéliennes et le cycle du riz; étude écologique des *Culicidae* adultes et larvaires dans la rizière de la Vallée du Kou, Burkina Faso. *Acta tropica*, 1988 b, 45: 351-359.
- Robert V., Petrarca V., Carnevale P. & Coluzzi M. - Le particularisme de la transmission du paludisme dans la zone rizicole de la Vallée du Kou, Burkina Faso; l'apport de la cytogénétique des vecteurs à l'épidémiologie. *Parassitologia*, 1986 b, 28: 327-329.
- Robert V., Petrarca V., Carnevale P., Ovazza L. & Coluzzi M. - Analyse cytogénétique du complexe *Anopheles gambiae* dans la région de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. *Ann. Parasitol. hum. comp.*, 1989 b, à paraître.
- Robert V., Richard A. & Mouchet J. - Les résidants non immuns face au paludisme. *ORSTOM Actualités*, 1988 c, 21: 4-5.
- Robert V., Verhave J.P., Ponnudurai T., Louwé L., Scholtens P. & Carnevale P. - Study of the distribution of circumsporozoite antigen in *Anopheles gambiae* infected with *Plasmodium falciparum*, using the enzyme-linked immunosorbent assay. *Trans. R. trop. Med. Hyg.*, 1988 d, 82: 389-391.
- Rodhain F. & Perez C. - *Précis d'entomologie médicale et vétérinaire*. Maloine, Paris, 1985, pp. 458.
- Rosenberg R. - Inability of *Plasmodium knowlesi* sporozoites to invade *Anopheles freeborni* salivary glands. *Am. J. trop. Med. Hyg.*, 1985, 34: 687-691.
- Ross R. - *The prevention of malaria*. London, John Murray, 1910.
- Rossi P., Belli A., Mancini L. & Sabatinelli G. - Enquête entomologique longitudinale sur la transmission du paludisme à Ouagadougou, Burkina Faso. *Parassitologia*, 1986, 28: 1-15.
- Rossignol P.A. & Mackay Rossignol A. - Simulations of enhanced malaria transmission and host bias induced by modified vector blood location behaviour. *Parasitology*, 1988, 97: 363-372.
- Rossignol P.A., Ribeiro J.M.C. & Spielman A. - Increased intradermal probing time in sporozoite-infected mosquitoes. *Am. J. trop. Med. Hyg.*, 1984, 33: 17-20.
- Rossignol P.A., Ribeiro J.M.C. & Spielman A. - Increased biting rate and reduced fertility in sporozoite-infected mosquitoes. *Am. J. trop. Med. Hyg.*, 1986, 35: 277-279.
- Rowland M. & Boersma E. - Changes in the spontaneous flight activity of the mosquito *Anopheles stephensi* by parasitization with the rodent malaria *Plasmodium yoelii*. *Parasitology*, 1988, 97: 221-227.
- Sabatinelli G., Bosman A., Lamizana L. & Rossi P. - Prévalence du paludisme à Ouagadougou et dans le milieu rural limitrophe en période de transmission maximale. *Parassitologia*, 1986 a, 28: 17-31.
- Sabatinelli G., Rossi P. & Belli A. - Etude sur la dispersion d'*Anopheles gambiae* s.l. dans une zone urbaine à Ouagadougou, Burkina Faso. *Parassitologia*, 1986 b, 28: 33-39.
- Saul A. - Estimation of survival rates and population size from mark-recapture experiments of bait-caught haematophagous insects. *Bull. Ent. Res.*, 1987, 77: 589-602.
- Sautet J. - Exophilie et migrations chez les anophèles, en particulier chez *Anopheles gambiae*. *Bull. Org. mond. Santé*, 1957, 17: 367-376.
- Schiefer B.A., Ward R.A. & Eldrige B.F. - *Plasmodium cynomolgi*: effects of malaria infection on laboratory flight performance of *Anopheles stephensi* mosquitoes. *Exp. Parasitol.*, 1977, 41: 397-404.

- Schlein Y. - Age grouping of anopheline malaria vectors by the cuticular growth lines. *J. Med. Entomol.*, 1979, 16: 502-506.
- Schlein J. & Gratz N.G. - Age determination of some flies and mosquitos by daily growth layers of skeletal apodemes. *Bull. Org. mond. Santé*, 1972, 47: 71-76.
- Schlein Y. & Gratz N.G. - Determination of the age of some anopheline mosquitos by daily growth layers of skeletal apodemes. *Bull. Org. mond. Santé*, 1973, 49: 371-375.
- Schneider I. & Vanderberg J.P. - Culture of invertebrate stages of plasmodia and the culture of mosquito tissue. In Kreier J.P. ed. *Malaria*, vol.2, New York Academic Press, 1980: 235-270.
- Schreck C.E. & Self L.S. - Traitement des moustiquaires pour une meilleure protection contre les piqûres et les maladies transmises par les moustiques. WHO/VBC/85.914.
- Sergeant E. - *Plasmodium relictum*, agent pathogène du paludisme des oiseaux, ne donne pas une maladie mortelle au moustique transmetteur. *Bull. Soc. Path. exot.*, 1919, 12: 601-603.
- Sergeant E. & Sergeant E. - Recherches expérimentales sur l'infection latente et la prémunition dans le paludisme. *Arch. Inst. Past. Algérie*, 1950, 28: 1-70.
- Service M.W. - The ecology of the mosquitos of the northern guinea savannah of Nigeria. *Bull. Ent. Res.*, 1963, 54: 601-633.
- Service M.W. - *Mosquito ecology-Field sampling methods*. Applied Science, London, 1976 a, pp.583.
- Service M.W. - Some problems in the control of malaria. *Ecological effects of pesticides*. F.H.Perring & K.Mellanby Ed., 1976 b: 151-164.
- Service M.W. - Mortalities of the immature stages of species B of the *Anopheles gambiae* complex in Kenya: comparison between rice fields and temporary pools, identification of predators, and effects of insecticidal spraying. *J. Med. Entomol.*, 1977, 13: 535-545.
- Service M.W., Joshi G.P. & Pradhan G.D. - A survey of *Anopheles gambiae* and *A.arabiensis* in the Kisumu area of Kenya following insecticidal spraying with OMS-43 (fenitrothion). *Ann. trop. Med. Parasitol.*, 1978, 72: 377-386.
- Shute P.G. & Maryon M. - Studies in the transmission of *Plasmodium malariae* by *Anopheles* mosquitoes. *Parasitology*, 1951, 41: 292-300.
- Sinden R.E. - A cell biologist's view of host cell recognition and invasion by malarial parasites. *Trans. R. Soc. trop. Med. Hyg.*, 1985, 79: 598-605.
- Sinden R.E., Hartley R.H. & Winger L. - The development of *Plasmodium* ookinetes *in vitro*: an ultrastructural study including a description of meiotic division. *Parasitol.*, 1985, 91: 227-244.
- Sinden R.E. & Smalley M.E. - Gametocytes of *Plasmodium falciparum*: phagocytosis by leucocytes *in vivo* and *in vitro*. *Trans. R. Soc. trop. Med. Hyg.*, 1976, 70: 344-345.
- Sinton J.A. & Schute P.G. - A report on the longevity of mosquitos in relation to the transmission of malaria in nature. *Public health and medical subjects*, report n°85, 1938, London.
- Snow R.W., Jawara M. & Curtis C.F. - Observations on *Anopheles gambiae* s.l. during a trial of permethrin-treated bed nets in The Gambia. *Bull. Ent. Res.*, 1987 a, 77: 279-286.
- Snow R.W., Rowan K.M. & Greenwood B.M. - A trial of permethrin-treated bed nets in the prevention of malaria in Gambian children. *Trans. R. Soc. trop. Med. Hyg.*, 1987 b, 81: 563-567.
- Snow R.W., Rowan K.M., Lindsay S.W. & Greenwood B.M. - A trial of bed nets (mosquito nets) as a malaria control strategy in a rural area of The Gambia, West Africa. *Trans. R. Soc. trop. Med. Hyg.*, 1988, 82: 212-215.
- Snow W.F. - Mosquito production and species succession from an area of irrigated rice fields in The Gambia, West Africa. *J. trop. Med. Hyg.*, 1983, 86: 237-245.
- Stephens J.W. - Methods for detecting sporozoites in mosquitos infected with malaria. *Bull. Ent. Res.*, 1911, 2: 1-8.

- Sucharit S., Surathin K., Tumrasvin W. & Sucharit P. - Chloroquine-resistant *Plasmodium falciparum* in Thailand: susceptibility of Anopheles. *J. Med. Assoc. Thailand*, 1977, **60**: 648-654.
- Surtees G. - Effects of irrigation on mosquito populations and mosquito-borne diseases in man, with particular reference to ricefield extension. *Inter. J. Environmental Studies*, 1970, **1**: 35-42.
- Tait A. - Analysis of protein variation in *Plasmodium falciparum* by two-dimensional gel electrophoresis. *Mol. bioch. Parasitol.*, 1981, **2**: 205-218.
- Touré Y.T. - Génétique, écologie et capacité vectorielle des membres du complexe *Anopheles gambiae* au Mali. Thèse de sciences soutenue le 14 mars 1985 à la faculté de sciences et techniques de Saint Jérôme, Aix-Marseille III.
- Touré Y.T., Petrarca V. & Coluzzi M. - Esame comparativo dei tassi di infezione con sporozoit e filarie in diverse forme del complesso *Anopheles gambiae* in a villaggio del Mali. *Ann. Ist. Super. Sanità*, 1986, **22**: 215-218.
- Trape J.-F. - *L'impact de l'urbanisation sur le paludisme en Afrique Centrale*. Thèse, Université de Paris-Sud, 16 sept 1986, pp.409.
- Trape J.-F. & Zoulani A. - Malaria and urbanization in central Africa: the example of Brazaville. Part II: Results of entomological surveys and epidemiological analysis. *Trans. R. Soc. trop. Med. Hyg.*, 1987 a, **81**, Suppl.2: 10-18.
- Trape J.-F. & Zoulani A. - Malaria and urbanization in central Africa: the example of Brazaville. Part III: relationships between urbanisation and the intensity of transmission. *Trans. R. Soc. trop. Med. Hyg.*, 1987 b, **81**, Suppl.2: 19-25.
- Ungureanu E.M. - Population dynamics and age grading of mosquitoes. *Bull. Org. mond. Santé*, 1974, **50**: 317-321.
- Vanderberg J.P. - Development of infectivity by the *Plasmodium berghei* sporozoite. *J. Parasitol.*, 1975, **61**: 43-50.
- Vercruysse J. - Etude entomologique sur la transmission du paludisme humain dans le bassin du fleuve Sénégal, Sénégal. *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, 1985, **65**, Suppl.2: 171-179.
- Vercruysse J. & Jancloes M. - Etude entomologique sur la transmission du paludisme humain dans la zone urbaine de Pikine, Sénégal. *Cah. ORSTOM Sér. Ent. méd. Parasitol.*, 1981, **19**: 165-178.
- Vercruysse J., Jancloes M. & Van de Velden L. - Epidemiology of seasonal falciparum malaria in an urban area of Senegal. *Bull. Org. mond. Santé*, 1983, **61**: 821-831.
- Verhave J.P., Janssen C., Oettinger T., Boudin C., Robert V. & Carnevale P. - Vectors and transmission dynamics of *P.falciparum* and *P.malariae* in Burkina Faso, studied with a two-site ELISA for detection of sporozoites. 3^e conférence internationale sur le paludisme et les babésioses, 7-11 septembre 1987, Annecy, France, p.113.
- Verhave J.P., Leeuwenberg A.D.E.M., Ponnudurai T., Meuwissen J.H.E.T. & Van Druten J.A.M. - The biotine streptavidin system in a two-site ELISA for the detection of plasmodial sporozoite antigen in mosquitoes. *Parasite Immunol.*, 1988, **10**: 17-31.
- Vermeulen A.N., Van Deursen J., Brakenhoff R.H., Lensen T.H.W., Ponnudurai T. & Meuwissen J.H.E.T. - Characterization of *Plasmodium falciparum* sexual stage antigens and their biosynthesis in synchronised gametocyte cultures. *Mol. Bioch. Parasitol.*, 1986, **20**: 155-163.
- Vermeulen A.N., Ponnudurai T., Beckers P.J.A., Verhave J.-P., Smits M.A. & Meuwissen J.H.E.T. - Sequential expression of antigens on sexual stages of *Plasmodium falciparum* accessible to transmission-blocking antibodies in the mosquito. *J. Exp. Med.*, 1985, **162**: 1460-1476.
- Walliker D. - The genetic basis of diversity in malaria parasites. *Advances Parasitol.*, 1983, **22**: 217-259.
- Weathersby A.B. & MacCroddan D.M. - The effects of parabiotic twinning of susceptible and refractory mosquitos on the development of *Plasmodium gallinaceum*. *J. Parasitol.*, 1982, **68**: 1081-1084.
- Wéry M. - Stratification of malarious areas in Africa. A few axamples. WHO / MAL / 86.1033.
- Wéry M. & Cooseman M. - La résistance médicamenteuse dans le paludisme. *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, 1980, **60**: 137-163.
- White G.B. - *Anopheles gambiae* complex and disease transmission in Africa. *Trans. Roy. trop. Med. Hyg.*, 1974, **68**: 278-301.

- White G.B. - *Anopheles bwambae* sp. n., a malaria vector in the Semliki Valley, Uganda, and its relationships with other sibling species of the *An. gambiae* complex (Diptera: Culicidae). *System. Entomol.*, 1985, 10: 501-522.
- Wilkinson R.N., Gould D.J. & Boonyakanist A. - Comparative susceptibility of *Anopheles balabacensis* and *A. minimus* to naturally occurring *Plasmodium falciparum* in Central Thailand. *Proc. helminthol. Soc. Washington*, 1972, 39: 423-427.
- Wilkinson R.N., Noeypatimanondh S. & Gould D.J. - Infectivity of falciparum malaria patients for anopheline mosquitoes before and after chloroquine treatment. *Trans. R. Soc. trop. Med. Hyg.*, 1976, 70: 306-307.
- Wilson B.D. - Construction, irrigation and malaria. *East Afri. Med. J.*, 1957,
- Wirtz R.A., Burkot T.R., Andre R.G., Rosenberg R., Collins W.E. & Roberts D.R. - Identification of *Plasmodium vivax* sporozoites in mosquitoes using an enzyme-linked immunosorbent assay. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 1985, 34: 1048-1054.
- Yap H.H. - Effectiveness of soap formulations containing DEET and permethrin as personal protection against outdoor mosquitoes in Malaysia. *J. Am. Mosq. Control Assoc.*, 1986, 2: 63-67.
- Zahar A.R. - Vector bionomics in the epidemiology and control of malaria. Part I, the WHO african region and the southern WHO eastern mediterranean region. WHO/VBC/84.6 et WHO/VBC/85.1 et WHO/VBC/85.2 et WHO/VBC/85.3.
- Zavala F., Gwadz R.W., Collins F.H., Nussenzweig R.S. & Nussenzweig V. - Monoclonal antibodies to circumsporozoite proteins identify the species of malaria parasite in infected mosquitoes. *Nature*, 1982, 299: 737-738.
- de Zoysa A., Herath P., Abhayawardana T. & Padmalal U. - Modulation of human malaria transmission by anti-gamete transmission blocking immunity. *Trans R. trop. Med. Hyg.*, 1988, 82: 548-553.

SECONDE PARTIE
SELECTION d' ARTICLES

1. Vecteurs de la zone des savanes ouest-africaines

1.1. Les vecteurs des paludismes en Afrique subsaharienne.

ROBERT V. & CARNEVALE P.

Etudes médicales, juin 1984, n° 2: 79-90.....p. 75

1.2. Analyse cytogénétique du complexe *Anopheles gambiae* dans un village du sud-est du Burkina Faso.

ROBERT V., PETRARCA V., CARNEVALE P., ZOULANI A. & COLUZZI M.

A paraître.....p. 83

1.3. Analyse cytogénétique du complexe *Anopheles gambiae* dans la région de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso.

ROBERT V., PETRARCA V., CARNEVALE P., OVAZZA L. & COLUZZI M.

Ann. Parasito. hum. comp., 1989. A paraître.....p. 101

1.4. Le paludisme urbain à Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. 4. Etude chromosomique du complexe *Anopheles gambiae*.

ROBERT V., PETRARCA V., CARNEVALE P. & COLUZZI M.

A paraître.....p. 125

1.5. La succession des espèces anophéliennes et le cycle du riz; étude écologique des *Culicidae* adultes et larvaires dans la rizière de la Vallée du Kou, Burkina Faso.

ROBERT V., OUARI B., OUÉDRAOGO V. & CARNEVALE P.

Acta tropica, 1988, 45: 351-359.....p. 133

LES VECTEURS DES PALUDISMES EN AFRIQUE SUBSAHARIENNE

V. ROBERT et P. CARNEVALE

Les vecteurs du paludisme sont des moustiques (insecte diptère nématocère culicide), de la sous-famille des *Anophelinae* et du genre *Anopheles* (Meigen, 1818).

Une dizaine d'espèces du sous-genre *Cellia* (Theobald, 1802) et *Anopheles* (Meigen, 1818) sont impliquées dans la transmission du paludisme humain en zone afrotropicale ; certaines d'entre elles peuvent également transmettre la filariose de Bancroft et des arboviroses.

Anopheles funestus (Giles, 1900) et le complexe *A. gambiae* (Giles, 1902) ou *A. gambiae sensu lato* assurent la majeure partie de la transmission en Afrique subsaharienne. *A. nili* (Theobald, 1904) et *A. moucheti* (Evans, 1925) jouent un rôle important dans des régions limitées. D'autres espèces peuvent avoir un rôle vecteur secondaire, localement dans des régions où elles abondent et où l'essentiel de la transmission reste assuré par les espèces précitées. Ce sont : *A. coustani* (Laveran, 1900) ; *A. paludis* (Theobald, 1900) ; *A. flavicosta* (Edwards, 1911) ; *A. pharoensis* (Theobald, 1901) ; *A. brohieri* (Edwards, 1919) ; *A. hancocki* (Edwards, 1929) ; *A. hargreavesi* (Evans, 1927).

IDENTITÉ SYSTÉMATIQUE

Le développement des moustiques est caractérisé par la succession de deux phases :

- la première est aquatique ; elle recouvre la vie préimaginale, c'est-à-dire l'œuf, les quatre stades larvaires et la nymphe ;
- la seconde est aérienne, elle concerne l'adulte ou imago.

Les anophèles femelles pondent sur l'eau des œufs fécondés. Ces œufs, pondus isolément, sont munis de flotteurs et restent en surface durant l'embryogenèse.

D'un œuf éclôt une larve du premier stade. La larve aquatique se nourrit en filtrant les débris organiques et les micro-organismes de l'eau de surface, s'accroît et mue trois fois.

La larve de quatrième stade effectue une mue particulière, la nymphose qui libère une nymphe aquatique mobile, qui ne se nourrit pas.

De la nymphe émerge un adulte, mâle ou femelle, qui s'envole sans tarder. C'est au cours de la phase aérienne, d'abord en vol puis au sol, que s'effectue l'insémination par le mâle de la femelle néonate.

Cette dernière stocke les spermatozoïdes dans sa spermathèque. Les spermatozoïdes conservent leur pouvoir fécondant jusqu'à la mort de la femelle.

CYCLE DE DÉVELOPPEMENT

Mâles et femelles se nourrissent de jus sucrés, nectars et autres exsudats végétaux. Le mâle est incapable de perforer un tégument de vertébré. Seule la femelle est hématophage ; un repas sanguin n'est pas indispensable à sa survie mais l'est à la maturation ovarienne comprenant habituellement 150 œufs chez *A. gambiae*. C'est lors de l'oviposition que s'effectue la fécondation dans le tractus génital de la femelle.

A une température voisine de 25°, la phase préimaginale dure une dizaine de jours pour *A. gambiae* et une vingtaine pour *A. funestus*. Cette phase est raccourcie lorsque la température augmente (cinq jours à 30° pour *A. gambiae*). La longévité de l'adulte est d'une vingtaine de jours, guère plus d'un mois dans les conditions habituelles.

Les œufs d'anophèles sont de forme incurvée et mesurent environ 0,5 mm de long. Ils sont munis de deux flotteurs latéraux remplis d'air. L'œuf est entouré d'une double membrane chorionique.

Les œufs d'anophèles, contrairement à ceux d'autres moustiques, résistent très mal à la dessiccation.

MORPHOLOGIE

L'œuf

La larve se compose de trois parties : la tête, le thorax et l'abdomen.

La larve

- La tête comprend notamment les yeux, les antennes, les soies fronto-clypéales très utilisées pour la diagnose spécifique et les pièces buccales (labre, mandibules, maxilles, hypopharynx, labium) en position ventrale, qui entourent la bouche.

Pour se nourrir, la larve dont la face dorsale est placée sous la surface de l'eau, effectue une rotation de 180° de la tête qui est bien séparée du thorax par un cou membraneux ; elle filtre et ingère les particules alimentaires amenées vers la bouche par le courant de surface engendré par le battement des brosses buccales du labre.

- Le thorax est formé de trois segments non individualisés. Il porte des soies particulières très utilisées en taxonomie.

- L'abdomen cylindrique se compose de neuf segments. Les sept premiers portent notamment des plaques sclérifiées dorsales et des soies palmées caractéristiques des anophèles, qui contribuent au maintien de la larve juste sous la surface de l'eau.

Le huitième segment abdominal porte latéralement une paire de plaques chitineuses particulières, les peignes, et dorsalement deux orifices respiratoires, les stigmates, s'ouvrant directement au niveau d'une plaque spinaculaire ; l'absence de siphon respiratoire est une caractéristique des *Anophelinae*, de sorte que la larve reste parallèle à la surface de l'eau, face dorsale vers le haut. Les stigmates respiratoires sont fermés par des valves lors de la plongée et ouverts en surface pour autoriser le renouvellement de l'air du système trachéen. La respiration est aérienne.

Le dernier segment abdominal porte l'anus, entouré de deux paires de papilles anales. Il porte aussi une plaque sclérifiée, la selle, et un certain nombre de soies utilisées en taxonomie.

Les larves d'*A. gambiae* mesurent 1 mm de long au premier stade et 5 mm au quatrième.

En fin de quatrième stade larvaire, la cuticule se fend dorsalement et libère une nymphe, bien différente de la larve. Elle est composée de deux parties : le céphalothorax résultant de la coalescence d'une tête non individualisée et d'un thorax globuleux et l'abdomen.

Le céphalothorax porte deux trompettes respiratoires qui correspondent aux stigmates antérieurs du thorax. Ces trompettes à extrémités hydrophobes traversent la surface de l'eau et assurent la respiration aérienne de la nymphe.

L'abdomen comprend huit segments bien visibles dont le huitième porte une paire de palettes natatoires permettant des mouvements brusques et saccadés.

Le stade nymphal dure habituellement deux jours.

La nymphe

La ligne ecdysiale du céphalothorax de la nymphe âgée se fracture et libère successivement les différentes parties de l'adulte : thorax, tête, antennes, ailes, trompe, pattes, abdomen. L'adulte se retrouve à l'air libre posé sur son exuvie nymphale. Il reste quelques instants immobile, le temps que ses ailes se déploient et que la cuticule durcisse, puis s'envole. L'émergence dure quelques minutes et représente une phase délicate dans la vie de l'insecte où se manifeste une forte mortalité.

L'adulte comprend trois parties bien distinctes : la tête, le thorax et l'abdomen.

- La tête porte deux gros yeux composés, une paire d'antennes de quinze articles à soies nombreuses et longues chez le mâle, rares et courtes chez la femelle.

La trompe ou proboscis est formée postérieurement du labium replié en gouttière entourant six fins stylets, vulnérants chez la femelle, soit :

- une paire de mandibules ;
- une paire de maxilles qui sont les organes perforants principaux ;
- l'hypopharynx traversé par le canal salivaire par où est injecté la salive anticoagulante (et éventuellement les sporozoïtes) ;
- le labre qui forme, avec l'hypopharynx comme « plancher », le canal alimentaire par où sont aspirés les liquides nutritifs (et éventuellement les gamétocytes).

Les deux palpes maxillaires situés de part et d'autre de la trompe sont formés de quatre articles. Chez la femelle, ils sont de la taille de la trompe ; ils sont plus longs chez le mâle et ont les deux articles distaux renflés en massue.

- Le thorax est formé de trois métamères portant chacun une paire de pattes. Le prothorax est très réduit. C'est sur le mésothorax très développé et renfermant de puissants muscles alaires que s'insère une paire d'ailes. Sur le métathorax est placée une paire d'haltères ou balanciers qui est l'homologue d'une paire d'ailes postérieures atrophiées et qui joue un rôle dans l'équilibration du vol. Le thorax est composé de plaques chitineuses (tergites dorsaux, pleurites latéraux, sternites latéraux) à nomenclature et chétotaxie bien définies, utilisées en taxonomie.

Les pattes longues et graciles sont formées de neuf articles : la hanche ou coxa, le trochanter, le fémur, le tibia, le tarse formé de cinq articles dont le dernier porte une paire de griffes enserrant deux pulvilles et une soie médiane appelée empodium. Les ailes des

L'adulte

Anophelinae présentent de nombreuses écailles claires et sombres dont l'arrangement, sur le rebord costal et sur les « cellules » délimitées par les nervures alaires, est très utilisé en systématique.

• L'abdomen est constitué de dix segments dont sept sont bien visibles. Chaque segment est constitué d'une plaque chitineuse dorsale (le tergite) et d'une ventrale (le sternite) reliés par une membrane qui autorise la dilatation de l'abdomen lors de l'alimentation sanguine et de la maturation des ovaires. Les trois derniers segments portent l'anus et les appendices génitaux ou genitalias.

Chez la femelle, ces dernières sont simples. Le neuvième segment porte deux cerques dorsaux. Le vagin est ventral et fermé par deux lèvres.

Chez le mâle, peu après la mue imaginale, les trois derniers segments subissent une rotation définitive de 180°. Les neuvième et dixième segments constituent l'hypopygium qui se compose d'une paire de forcipules articulés, d'une paire de gonapophyses ou harpagones à la base de ces dernières et d'un pénis médian. La forme et la chétotaxie de l'hypopygium sont des caractères spécifiques.

Le cycle gonotrophique (ou trophogonique) est la succession des phénomènes physiologiques qui se produisent chez le moustique entre deux repas de sang successifs. Trois phases sont distinguées :

- la recherche de l'hôte et sa piqure par la femelle à jeun ;
- la digestion du sang qui se déroule en même temps que la maturation ovarienne ;
- la recherche du lieu de ponte par la femelle gravide.

LE CYCLE GONO- TROPHIQUE

La femelle à jeun se met, de nuit, à la recherche d'un hôte à piquer. La localisation de ce dernier se fait à plusieurs niveaux. Bien que les facteurs d'attractivité essentiels ne se dégagent pas clairement des nombreuses études faites à ce sujet, il semble qu'à longue distance interviennent les stimuli olfactifs tel le gaz carbonique émis par la respiration ; à courte distance, ce seraient plutôt les facteurs visuels qui prévaudraient. Pour la piqure proprement dite, la température est un facteur primordial.

Recherche de l'hôte

La tendance à piquer l'homme est l'anthropophilie, la tendance à piquer les animaux est la zoophilie.

Chez les femelles pares, la prise de repas de sang peut se faire soit la même nuit, soit au moins vingt-quatre heures après l'oviposition. Ces délais sont fonction de nombreux facteurs, notamment l'accessibilité des hôtes à partir du gîte de ponte.

Chez les femelles nullipares, la situation est nettement plus compliquée (cf. *infra*).

Dès la fin du repas commence la digestion du sang. Ce dernier est d'abord concentré par élimination de l'eau. L'abdomen, distendu à l'extrême, qui paraissait rouge par transparence, devient brun foncé et diminue nettement de volume.

Digestion du sang et maturation ovarienne

Simultanément, les ovaires se développent. Les femelles, qui ont déjà pondu au moins une fois (femelle pare), nécessitent un seul repas de sang pour élaborer complètement une ponte.

Les femelles nullipares ont parfois besoin de deux repas de sang pour achever le développement ovarien ; on dit qu'elles présentent alors un stade prégravidé.

La digestion d'un repas complet dure généralement une quarantaine d'heures.

Dès que la ponte est mature, la femelle se met en quête d'un gîte de ponte favorable. Des caractéristiques de l'eau du gîte sont analysées par des chémorécepteurs situés sur les pattes. La ponte a lieu généralement au crépuscule. Une fois cette dernière achevée débute un nouveau cycle.

La durée du cycle trophogonique est bien connue pour les vecteurs d'Afrique tropicale et varie entre deux et trois jours pour les femelles pares, suivant les espèces et les saisons. Pour les nullipares, il est plus long, jusqu'à cinq jours, du fait de la phase prégravidé.

La détermination de la durée de ce cycle est capitale pour estimer la longévité.

La durée du cycle sporogonique du *Plasmodium* dans le moustique, supposant que son premier repas de sang est infectant, permet de déterminer l'âge épidémiologiquement dangereux à partir duquel un anophèle est potentiellement vecteur.

En combinant la durée du cycle sporogonique à la longévité, on peut estimer l'espérance de vie infectante des femelles et même quantifier les potentialités vectrices des différentes espèces ou populations d'anophèles.

Recherche du lieu de ponte

Les différentes espèces du complexe *A. gambiae* (ou *A. gambiae sensu lato*) ont en commun une morphologie très semblable, voire identique ; on parle d'espèces jumelles, si bien que la diagnose de certitude à l'intérieur du complexe se fait souvent sur des critères cytogénétiques utilisant la séquence des bandes de chromosomes particuliers : les chromosomes géants ou polythènes, soit des glandes salivaires des larves, soit des cellules nourricières des ovaires de la femelle semi-gravide.

On dénombre six espèces, toutes africaines, dans ce complexe.

- *Anopheles gambiae* s.s. et *Anopheles arabiensis*.

A. gambiae sensu stricto (ancienne espèce A) et *A. arabiensis* (ancienne espèce B) présentent les plus vastes aires de distribution.

Ces deux espèces vivent ensemble dans la quasi-totalité de l'Afrique subsaharienne non méridionale sans dépasser 1 000 m d'altitude.

Ces deux espèces sont les meilleurs vecteurs du complexe. Classiquement, *A. gambiae* domine en zone de forêt et de savane humide. *A. arabiensis* est avantagé dans les savanes plus sèches et les steppes. Mais ces deux espèces ont une grande amplitude écologique : *A. gambiae* est présent au Congo (où *A. arabiensis* est absent) et à Agadez ! *A. arabiensis* semble pouvoir peupler les villes, préférentiellement à *A. gambiae*.

Leurs gîtes sont des **collections d'eau temporaires peu profondes et ensoleillées** : empreinte de pas, de sabots, flaques, petites mares, marécages aménagés, rizières, flaques résiduelles des cours d'eau en décrue. Les larves d'*A. gambiae* s.s. et d'*A. arabiensis* se rencon-

BIO-ÉCOLOGIE

Le complexe *Anopheles* *gambiae*

trent aussi dans tout autre type de gîte mais de manière inhabituelle. Elles ne se rencontrent en principe pas dans les eaux fortement ombragées, à courant rapide, alcalines ou polluées.

La densité des populations varie saisonnièrement en fonction de la pluviosité. Ainsi, en zone de savane à une seule saison des pluies, elle s'accroît rapidement dès les premières pluies et la densité maximum est atteinte dans la seconde moitié de la saison pluvieuse. Elle décroît ensuite jusqu'à zéro dans les savanes sèches et sahéliennes éloignées de gîtes larvaires.

Les femelles piquent de préférence au niveau du sol, à l'intérieur des maisons (endophagie). Mais l'exophagie n'est pas rare, en particulier chez *A. arabiensis*.

Ces deux espèces sont nettement anthropophiles sauf si l'abondance et la proximité du bétail (bœuf, chèvre, mouton) favorise la zoophilie.

Classiquement, l'activité de piqure augmente au cours de la première moitié de la nuit, atteint sa valeur maximum entre minuit et quatre heures, puis reste élevée jusqu'à l'aube.

A. arabiensis et surtout *A. gambiae* aiment à séjourner à l'intérieur des cases (endophilie). L'endophilie-exophilie est variable selon la saison, les préférences trophiques, le faciès, etc.

D'une manière générale, l'endophilie est favorisée par la saison froide, l'anthropophilie, les zones arides sans lieu de repas extérieurs.

La dispersion active est faible, inférieure à 2 km.

Le cycle gonotrophique dure trois à cinq jours chez les femelles nullipares et de deux à trois jours chez les pares.

Les taux quotidiens de survie sont élevés ; ils varient entre 0,84 et 0,93. Ils diminuent à partir du sixième ou huitième cycle gonotrophique, c'est-à-dire chez les femelles âgées de plus d'une vingtaine de jours.

- *Anopheles quadriannulatus*.

A. quadriannulatus (ancienne espèce C) est strictement zoophile. Il est rencontré en Éthiopie et dans l'île de Zanzibar.

- *Anopheles gambiae* espèce D.

Les larves d'*A. gambiae* espèce D se rencontrent dans les sources d'eau minérale de la forêt de Semliki en Ouganda. Les adultes, quoique anthropophiles et potentiellement bons vecteurs, vivent sans contact avec l'homme, sauf dans de rares villages où ils jouent un rôle certain dans la transmission du paludisme.

- *Anopheles melas* (Theobald, 1903) et *Anopheles merus* (Donitz, 1902).

Les larves d'*A. melas* et d'*A. merus* vivent en eau saumâtre, respectivement sur le littoral atlantique et indien de l'Afrique. A la différence d'*A. melas*, *A. merus* pénètre sur plusieurs dizaines de kilomètres à l'intérieur des terres.

La zoophilie des ces deux espèces est très marquée.

Dans la nature, *A. melas* paraît meilleur vecteur qu'*A. merus* bien qu'au laboratoire toutes deux sont aussi susceptibles qu'*A. gambiae* s.s. d'assurer le cycle sporogonique des *Plasmodiums*.

A. melas, *A. merus* et *A. gambiae* espèce D n'ont pas d'aire commune de distribution mais toutes trois se rencontrent avec *A. gambiae* s.s. et *A. arabiensis*.

Trois espèces forment ce complexe : *A. lesoni* et *A. rivolurum* strictement zoophile sont sans importance épidémiologique, au contraire d'*A. funestus* s.s.

**Le complexe
*Anopheles
funestus***

• *Anopheles funestus*.

A. funestus est répandu dans toute l'Afrique subsaharienne, bien moins abondant dans les zones boisées que dans les savanes ouvertes. Il atteint 2 000 m en montagne où sa densité est souvent bien supérieure à celle d'*A. gambiae* s.l.

Ses gîtes larvaires sont typiquement des gîtes **d'eau profonde et claire, à caractères permanents ou sub-permanents, ombragés** par la végétation (herbes, riz, végétation flottante). Ce sont des mares, des marécages, des bordures de lacs et de cours d'eau, des rizières en hautes eaux...

La densité de la population imaginaire varie avec la pluviosité mais avec un certain retard par rapport à *A. gambiae* s.l. consécutif à la mise en condition des gîtes à eaux profondes et à un développement préimaginal plus lent. En zone de savane, la densité des populations d'adultes augmente bien après le début des pluies et atteint son maximum au début de la saison sèche, au moment où les populations d'*A. gambiae* s.l. ont déjà sensiblement diminué. En zone de forêt, plus régulièrement et davantage arrosée, les densités sont plus stables et généralement plus faibles.

Cette espèce, comme *A. gambiae* s.s. et *A. arabiensis*, préfère de beaucoup piquer l'homme mais un certain opportunisme tend à augmenter la zoophilie lorsqu'il y a abondance de bétail accessible ; on parle de déviation trophique.

L'endophagie est très marquée.

En général, l'activité de piqûre débute au crépuscule, croît et atteint son maximum dans les quatre dernières heures de la nuit. En saison froide, ce pic est précoce et se situe au début de la nuit alors que la température n'a que peu diminué.

Les femelles se reposent volontiers à l'intérieur des habitations. Cependant, les femelles nullipares et certaines des femelles gorgées sont exophiles.

Le cycle gonotrophique dure en général quatre à cinq jours chez les femelles nullipares et deux à trois jours chez les pares.

Le taux quotidien de survie est élevé, comme pour *A. gambiae*, stable pendant les six à huit premiers cycles gonotrophiques (entre 0,84 et 0,93) puis diminue ensuite.

La distance de vol entre les lieux de piqûres et de pontes peut atteindre 3 à 7 km.

A. nili est très largement répandu dans toute l'Afrique, localisé aux environs des cours d'eau permanents ou semi-permanents où se développent ses larves.

Anopheles nili

Il est abondant au cours de la seconde moitié des pluies en zone de savane mais, au Congo, sa densité maximale est observée pendant la saison sèche, les larves étant emportées par le courant en saison des pluies.

Cette espèce pique volontiers l'homme.

L'activité de piqûre se manifeste assez rapidement après la tombée de la nuit et présente un pic plus précoce que ceux d'*A. gambiae* s.l. et d'*A. funestus*.

A. nili est nettement plus exophile que ces deux derniers.

A. moucheti est limité au bloc forestier centrafricain et aux galeries forestières qui le prolongent au nord et surtout au sud. Il est connu au sud-Cameroun, Gabon, sud-R.C.A., Congo, Zaïre, Ouganda.

Les larves se rencontrent sur le bord des cours d'eau relativement larges, dans des eaux apparemment immobiles ou très lentes, mais constamment renouvelées et relativement ensoleillées.

Les populations sont assez stables toute l'année.

Les femelles, opportunistes, sont anthropophiles au voisinage des villages. Elles piquent aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur des maisons, pendant toute la nuit.

L'exophilie est souvent très marquée.

**Anopheles
moucheti**

BRENGUES (J.), BRUNHES (J.) et HERVY (J.P.), 1979. La filariose de Bancroft en Afrique, à Madagascar et dans les îles voisines. *Études médicales*, mars 1979, n° 1.

CARNEVALE (P.), BOSSENO (M.F.), MOLINIER (M.), LANCIEN (J.), LE PONT (F.) et ZOULANI (A.), 1979. Étude du cycle gonotrophique d'*Anopheles gambiae* (Diptera, Culicidae) (Giles, 1902) en zone de forêt dégradée d'Afrique centrale. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. ent. méd. parasitol.*, XVII (2) : 55-75.

COLUZZI (M.), SABATINI (A.), PETRARCA (V.) et DI DECO (M.A.), 1979. Chromosomal differentiation and adaptation to human environments in the *Anopheles gambiae* complex. *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg.*, 73 (5) : 483-497.

COZ (J.), 1973. Contribution à l'étude du complexe. *A. gambiae*. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. ent. méd. parasitol.*, XI (1) : 3-56.

GILLIES (M.T.) et de MEILLON (B.), 1968. The *Anophelinae* of Africa south of the Sahara. *Publication of the South African Institute for Medical Research*, n° 54.

HAMON (J.), 1963. Les moustiques anthropophiles de la région de Bobo-Dioulasso (Rép. de Haute-Volta). Cycles d'agressivité et variations saisonnières. *Ann. soc. entomol.*, 132 : 85-144.

HAMON (J.), MOUCHET (J.), 1961. Les vecteurs secondaires du paludisme humain en Afrique. *Méd. Trop.*, 21, numéro spécial, 643-660.

MOUCHET (J.), 1962. Influence des fleuves sur la biologie d'*A. gambiae* pendant la saison sèche dans le sud-Cameroun. *Bull. Soc. Path. exot.*, 55 : 1163-1171.

MOUCHET (J.) et GARIOU (J.), 1966. *A. moucheti* au Cameroun. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. ent. méd. parasitol.*, 4 (5) : 83-85.

WHITE (G.B.), 1974. *Anopheles gambiae* complex and disease transmission in Africa. *Trans. Roy. Soc. Trop. Med. Hyg.*, 68 (4) : 278-301.

BIBLIOGRAPHIE

Analyse cytogénétique du complexe Anopheles gambiae dans un village du sud-est du Burkina Faso (1)

Vincent ROBERT (2)

Vincenzo PETRARCA (3)

Pierre CARNEVALE (2)

Albert ZOULANI (2)

Mario COLUZZI (3)

(1) Cette recherche a bénéficié d'une aide financière du Programme spécial de recherche et de formation pour les maladies tropicales PNUD/Banque Mondiale /OMS et de la Commission des Communautés Européennes, DGXII.

(2) Antenne ORSTOM du Centre Muraz - B.P. 171 - Bobo-Dioulasso - Burkina Faso.

(3) Istituto di Parassitologia - Università di Roma "La Sapienza" - Piazzale Aldo Moro, 5 - 00185 Roma - Italia.

Résumé

L'analyse cytogénétique d'un échantillon du complexe Anopheles gambiae, prélevé dans le sud-est du Burkina Faso, prouve que cette région est une zone de sympatrie entre An. arabiensis et An. gambiae. Aucun hybride entre ces deux espèces jumelles n'a été observé sur 229 examens.

Sur le plan génétique An. arabiensis se présente comme une espèce homogène où les croisements sont aléatoires. Par contre, pour l'espèce An. gambiae le déficit de certains génotypes conduit à définir deux formes chromosomiques, An. gambiae Mopti et An. gambiae Savane, qui constituent deux populations caractérisées par un isolement reproductif partiel. La fréquence d'hybrides entre ces deux formes chromosomiques dans l'échantillon est estimée à moins de 6%. Au sein de chacune de ces formes chromosomiques, les croisements sont aléatoires. L'hypothèse de mécanismes précopulatoires d'isolement entre ces deux populations est proposée.

Mots-Clés: complexe Anopheles gambiae, cytogénétique, équilibre d'Hardy-Weinberg, Afrique.

Cytogenetic analysis of the Anopheles gambiae complex in a south-eastern village of the Burkina Faso

Summary

The cytogenetic analysis of a sample of the Anopheles gambiae complex taken in the south-eastern Burkina Faso shows that this zone is sympatric between An. arabiensis and An. gambiae. No hybrid between these sibling species has been observed in 229 mosquitoes.

From a genetic point of view An. arabiensis is an homogeneous species where cross breedings are random. On the contrary, concerning An. gambiae species, the deficiency of certain genotypes leads to define two chromosomal forms, An. gambiae Mopti and An. gambiae Savanna which represent two populations characterized by a partial reproductive isolation. The frequency of hybrids between these two chromosomal forms is evaluated at less than 6%. Cross breedings are random within each of these chromosomal forms. The hypothesis concerning precopulatory isolating mechanisms between these two populations is suggested.

Key- Words: Anopheles gambiae complex, cytogenetic, Hardy-Weinberg's equilibrium, Africa.

1. Introduction

Le complexe Anopheles gambiae Giles 1902 est probablement le plus étudié et le plus finement analysé des complexes d'espèce d'intérêt médical. Dans les années 1940 était déjà acquis qu'Anopheles gambiae sensu lato présentait une hétérogénéité dans ses capacités comme vecteur de paludisme dans différentes parties de l'Afrique (De Meillon, 1956). La découverte de populations à stades préimaginaux halophiles sur le pourtour de l'Afrique introduisait d'autres différences (Ribbands, 1944). L'emploi généralisé d'insecticides lors des campagnes de lutte antipaludique a suscité des comportements-réponses très variables selon les localités (Davidson, 1956) faisant suspecter l'existence de taxons différents. C'est en 1962 qu'éclata définitivement le taxon An. gambiae s.l. grâce à la méthode des croisements avec des souches de références (Davidson & Jackson, 1962; Davidson, 1962). A la suite de ces découvertes, des études de morphologie ont été reprises avec du matériel biologique identifié génétiquement; elles ont montré une similitude complète entre les différentes espèces sauf pour les espèces halophiles vis à vis des espèces dulcaquicoles

(Coluzzi, 1964) ou pour certaines populations marginales (Chauvet *et al.*, 1969; Zahar *et al.*, 1970). La technique morphologique classique était inopérante et la technique mixiologique nécessitait trop de temps; une nouvelle technique était nécessaire pour déterminer les espèces et analyser plus avant leurs inter-relations.

L'étude cytogénétique des chromosomes polyténiques des glandes salivaires du quatrième stade larvaire (Frizzi & Holstein, 1956) et des cellules trophocytaires de l'ovocyte du stade de Christophers III fin à IV début (Coluzzi, 1968) s'est avérée la plus performante et s'est généralisée. Les chromosomes des cellules nourricières sont plus utilisés car ils sont rencontrés chez la femelle adulte, ils sont plus facilement accessibles et ils procurent une fréquence supérieure de préparations réussies. Ces études chromosomiques ont permis de définir cytotauxonomiquement les différentes espèces du complexe An. gambiae (Coluzzi, 1966; Coluzzi & Sabatini, 1967, 1968, 1969; Davidson & Hunt, 1973).

Ces espèces sont au nombre de six. An. gambiae (ancienne espèce A) et An. arabiensis (ancienne espèce B) sont les plus anthropophiles et les meilleurs vecteurs de paludismes, de filariose de Bancroft et d'arboviroses. En général, An. gambiae domine en zone de forêt et de savane humide (Coz, 1973a). An. arabiensis est plus zoophile et plus exophile qu'An. gambiae. Ces deux espèces sont sympatriques dans la quasi totalité de la zone afrotropicale non méridionale. An. quadriannulatus (ancienne espèce C) est strictement zoophile et est rencontré en Ethiopie et dans l'Est de l'Afrique méridionale. Les larves de ces trois espèces vivent dans l'eau douce, contrairement à celles des trois suivantes. Les larves d'An. bwambae (ancienne espèce D) vivent dans les sources d'eau minérale de la forêt de Semliki en Ouganda (White, 1985). Les larves d'An. melas et d'An. merus vivent en eau saumâtre, respectivement sur le littoral Ouest et Est de l'Afrique. Ces trois dernières espèces sont allopatriques entre elles mais sympatriques à la fois avec An. gambiae et/ou An. arabiensis (White, 1974).

Chacune de ces six espèces est manifestement protégée par d'efficaces mécanismes d'isolement reproductif. Ces mécanismes ne sont pas encore formellement identifiés mais certainement relatifs à des composants éthologiques, agissant avant la copulation (Coluzzi *et al.*, 1985). Bien que la possibilité d'hybridation existe dans de nombreuses zones de sympatrie, les hybrides naturels entre ces six espèces sont très rares. Les hybrides obtenus par croisements expérimentaux sont le plus souvent viables. La stérilité est de règle seulement pour les mâles hybrides.

Les études effectuées au Burkina Faso (ex-Haute Volta) par Coz (1973 a et b) ont démontré qu'An. gambiae et An. arabiensis sont sympatriques dans tout le pays et que leur fréquence relative est fonction des conditions climatiques. An. gambiae domine dans la partie

méridionale humide du pays, alors qu'An. arabiensis est mieux représenté dans les steppes sahéliennes.

Des études plus récentes portant sur le polymorphisme génétique des membres de ce complexe en association avec un environnement anthropique, ont eu pour cadre le Nigeria (Coluzzi et al., 1979), la Sénégalie (Bryan et al., 1982; Petrarca et al., 1987) et le Mali (Touré et al., 1983). Il a été montré que l'étude des inversions chromosomiques donnait d'importantes informations sur le polymorphisme génétique de population naturelles du complexe. Il a aussi été montré chez An. gambiae s.s. qu'une grande hétérogénéité génétique était liée à un processus de spéciation en cours et que les inversions chromosomiques en constituait un excellent marqueur (Coluzzi et al., 1985).

Des recherches cytogénétiques sur ces deux espèces ont déjà été conduites au Burkina Faso dans le sud-ouest (Robert et al., à paraître) et dans le centre (Petrarca et al., 1986). Aucune donnée récente ne concerne le sud-est, c'est pourquoi un échantillon d'An. gambiae s.l. a été prélevé dans cette région et a été analysé.

2. Matériel et méthodes

2.1. La zone d'étude

La récolte de moustiques a été faite à Gagaré (11°49'N, 00°13'E), petit village de la province du Gourma, à 35 km au sud de Fada N'Gourma.

C'est une zone de plateaux relativement secs recouverts de savane arborée de type soudanien. Il pleut en moyenne 900 mm d'eau par an pendant l'unique saison pluvieuse qui dure de juin à septembre. Le village est implanté à proximité d'un cours d'eau temporaire bordé d'une belle galerie forestière. Lors de l'enquête, la saison sèche était déjà installée et il ne restait plus dans le lit sableux des cours d'eau de la région que quelques flaques résiduelles en voie d'assèchement mais encore productives en An. gambiae s.l.

Les habitants sont des Peul sédentaires qui vivent de la culture du mil pratiquée autour de leurs habitations, et de l'élevage (bovins, ovins, caprins et volailles). Ce bétail rentre tous les soirs pour dormir à proximité immédiate des habitations.

L'habitat est très dispersé, il est constitué par des huttes hémisphériques à armature de branchages et à revêtement de paille tressée. Ces huttes constituent d'excellents gîtes de repos diurnes pour les moustiques en particulier pour An. gambiae s.l.

2.2. Méthode de capture

La récolte au pyrèthre de la faune culicidienne intradomiciliaire a été effectuée entre 15h et 18h, du 18 au 20 septembre 1984. La même dizaine de maisons, réparties sur moins d'un kilomètre carré a pu être visitée avec succès pendant trois jours consécutifs. Ainsi l'échantillon prélevé possède de bonnes caractéristiques d'unité de lieu et de temps.

Les femelles semi-gravides d'An. gambiae s.l. ont été immédiatement triées et plongées dans un fixateur cytologique: le Carnoy (3/4 alcool éthylique absolu, 1/4 acide acétique glacial). Ces moustiques ont été conservés à température ambiante pendant quelques jours puis placés à -20°C.

2.3 Méthode d'analyse génétique

La technique de préparation des chromosomes des cellules trophocytaires de l'ovocyte a été celle de Hunt (1973) et leur lecture a été faite au microscope à contraste de phase avec la nomenclature de Coluzzi et al. (1979). Le plus souvent le squash détruit le centromère; les bras des différents chromosomes sont ainsi séparés. Chacun des trois chromosomes est désigné par un numéro. Le chromosome 1 est l'hétérochromosome; il est télocentrique. Les chromosomes 2 et 3 sont autosomaux et submétacentriques. Les bras de part et d'autre du centromère sont désignés par les lettres R ou L mis pour "right" ou "left". Les inversions sont désignées par des lettres minuscules sur chaque bras. L'arrangement standard de référence est notée +. Ce même symbole, avec une notation particulière, peut désigner l'arrangement standard d'une section du bras chromosomique; par exemple 2R +^a désigne l'alternative standard de l'inversion a du bras droit du chromosome 2. L'ensemble de tous les arrangements alternatifs d'une portion de bras chromosomique constitue un système d'inversion. Ces arrangements alternatifs sont d'autre part à l'origine d'une série de caryotypes exclusifs les uns des autres.

Les arrangements chromosomiques observés sur la préparation sont des inversions paracentriques qui sont soit fixées dans le taxon et utilisées dans la diagnose spécifique, soit polymorphiques et utilisées dans l'analyse génétique. Les fréquences observées des différents génotypes sont comparées aux fréquences attendues calculées selon l'équilibre d'Hardy-Weinberg; lorsque une valeur calculée des effectifs est inférieure à 5, le χ^2 est alors corrigé (Siegel, 1957) sans recourir à la correction de Yates. Si cet équilibre est conservée le groupe d'individus testés est considéré comme appartenant à un ensemble génétique homogène dont le statut minimum est celui d'une population. Par contre si cette hypothèse est rejetée l'existence de plus d'une unité panmictique dans l'échantillon sera recherchée.

Le plus souvent le génotype d'un individu est directement déduit de sa préparation

chromosomique. Toutefois, une partie des poly-hétérozygotes ont la même configuration cytologique (par exemple bc/bd et bcd/b) et leur discrimination n'a pas toujours été possible avec l'étude de la séquence des bandes sur les deux chromosomes homologues appariés. L'attribution de génotype dans l'une ou l'autre des classes alternatives a été basée sur la fréquence relative des caryotypes et des arrangements indiscutables car à l'état homozygote.

3. Résultats

Sur les 247 femelles semi-gravides récoltées, 229 (soit 92,7%) ont fourni des préparations chromosomiques interprétables.

L'examen cytomorphologique du chromosome X a permis de reconnaître 138 An. arabiensis (soit 60%) et 91 An. gambiae (soit 40%). Aucun hybride entre ces deux espèces n'a été observé.

3.1. Le polymorphisme chromosomique d'Anopheles arabiensis

3.1.1 Observations

Les inversions observées portent sur le bras 2R et 3R. Pour le bras 2R on observe des inversions dont la position autorise leurs classements en trois systèmes (figure 1, tableaux 1 et 2):

2R_a: avec les arrangements +^a, a et bf;

2R_b: avec les arrangements +b, b, bc, be et bf;

2R_d: avec les arrangements +d, d¹, be et bf.

Pour le bras 3R on observe les arrangements alternatifs +^a et a.

3.1.2. Analyse génétique

En utilisant ces données on calcule selon la loi d'Hardy-Weinberg les effectifs attendus des associations d'arrangements chromosomiques pour chaque système d'inversion. Leur comparaison avec les effectifs observés montre que pour les systèmes 2R_a, 2R_b 2R_d¹ et 3R_a, les différences ne sont pas significatives et sont compatibles avec l'hypothèse de croisements aléatoires chez An. arabiensis (tableau 2).

3.2. Le polymorphisme chromosomique d'An. gambiae

3.2.1. Observations

Les inversions observées portent sur les bras 2R et 2L.

Pour le bras 2R on observe des inversions dont la position autorise leur classement en deux systèmes (figure 1, tableaux 3 et 4):

2Rb: avec les arrangements +b, b et bc;

2Rd: avec les arrangements +d, d et u.

Un individu portant un caryotype 2Ribk/b ou 2Rjb/bk a été aussi observé, mais en raison de sa singularité il n'a pas été comptabilisé.

Pour le bras 2L on observe les arrangements alternatifs +^a et a.

3.2.2. Analyse génétique

3.2.2.1. Le polymorphisme d'An. gambiae au niveau de l'espèce

A partir de ces données, les effectifs attendus des associations d'arrangements chromosomiques sont calculés pour les systèmes 2Rb et 2Rd. La différence entre ces effectifs et les effectifs observés est très significative pour le système 2Rb; elle ne l'est pas pour le système 2Rd (tableau 4). L'hypothèse selon laquelle les inversions chromosomiques s'associent selon les lois du hasard est donc rejetée chez An. gambiae.

3.2.2.2. Le polymorphisme d'An. gambiae au niveau infra- spécifique

La majorité des génotypes a été déterminée sans ambiguïté mais un certain nombre de cas prêtent à discussion sur le bras chromosomique 2R:

- le triple hétérozygote bcu peut correspondre théoriquement à quatre caryotypes: bcu/+, bc/u, bu/c, b/cu. Les cinq individus de ce type ont tous été attribués à bc/u. En effet les arrangements bcu et cu ont été observés exceptionnellement au Burkina Faso, l'arrangement bu est rare et bc fréquent dans notre échantillon, enfin pour quelque préparation particulièrement réussies on a pu vérifier que b et c sont situés sur un même chromosome et que u est sur l'autre;

- les génotypes bcd/b et/ou bc/bd regroupent 13 individus. En fonction des proportions des arrangements b, bc, bd et bcd et de la certitude de l'existence, dans cette population, des génotypes bcd/bcd et bd/b, on a décidé d'en affecter 11 au génotype bcd/b et 2 au génotype bc/bd;

- les deux individus triple-hétérozygotes pour les inversions b, c et d ont été classés dans le génotype bcd/+. Les autres génotypes possibles bc/d, b/cd et bd/c, sont beaucoup moins probables, surtout les deux derniers;

- le génotype bc/bu a été préféré à bcu/b, moins probable, à cause de la plus grande fréquence de bu par rapport à celle de bcu dans le reste du Burkina Faso.

A la suite de Touré et al. (1983), Coluzzi et al. (1985), Petrarca et al. (1986) et Robert et al. (à paraître) on a défini des groupes d'arrangements chromosomiques pour tenter de retrouver des ensembles génétiquement homogènes à un niveau infra-spécifique. Les 90 An. gambiae de notre échantillon ont été répartis selon leurs génotypes. En fonction des arrangements on reconnaît deux "formes chromosomiques": la forme "Savane" caractérisée par l'inversion b et la forme "Mopti" caractérisée par les inversions bc et u (tableau 5).

Le génotype standard +/+ peut être considéré comme appartenant soit à la forme Savane soit à la forme Mopti. Les trois individus de ce génotype ont été répartis en proportion des effectifs des formes, soit deux Savane et un Mopti.

Finalement l'échantillon comprend 50 individus (soit 55,6%) attribués à la forme Savane, 33 (soit 36,7%) à la forme Mopti et seulement 7 (soit 7,8%) non attritués. Parmi ces sept non classés les quatre bc/b et les deux bc/bd sont à interpréter comme des hybrides issus de croisements entre les deux formes chromosomiques.

L'hypothèse de la panmixie au sein de chaque forme chromosomique a été testée sur les systèmes 2Rb et 2Rd. Pour les deux formes et pour les deux systèmes on a calculé la fréquence des arrangements chromosomiques (tableau 6) puis les effectifs attendus des différents arrangements. La comparaison des effectifs observés et des effectifs attendus (tableau 7) n'a pas mis en évidence de différence motivant un rejet de l'hypothèse de croisements aléatoires à l'intérieur de chaque formes prises isolément. Chaque forme chromosomique correspond donc à une véritable unité génétique superposable à une entité taxonomique.

4. Discussion

Le village de Gagaré dans le sud-est burkinabé est une zone de sympatrie pour An. arabiensis et An. gambiae.

La fréquence relativement élevée d'An. arabiensis dans notre échantillon est probablement consécutive à la présence nocturne de bovins dans le village et à la date du prélèvement en début de saison sèche, à un moment où les densités relatives de cette espèce sont souvent élevées (Rishikesh et al., 1985).

Deux formes chromosomiques d'An. gambiae sont observées dans ce prélèvement: Savane et Mopti. An. gambiae Savane, par l'existence d'un polymorphisme 2Rb/bcd, est à

rapprocher des An. gambiae Savane du Nigeria (Coluzzi et al., 1979; Di Deco et al., 1980). Cette forme chromosomique est surtout caractérisée par l'arrangement 2R_b avec une faible fréquence de +_b au Burkina Faso Central et Occidental (Petrarca et al., 1986; Robert et al., à paraître), et au Sénégal (Petrarca et al., 1987a). L'arrangement 2L_a est fixé chez Mopti; deux hétérozygotes 2L⁺/_a ont été observés sur des spécimens appartenant à la forme Savane avec 2R_b à l'état homozygote. Les populations d'An. gambiae Savane du Mali et de la Guinée Conakry sont différenciées par la présence des arrangements 2R_b_{cu} et 2R_{cu} en plus de 2R_b et 2R⁺_b. La forme Mopti d'Anopheles gambiae, typique du delta intérieur du fleuve Niger est caractérisée par le polymorphisme 2R_b_u (Coluzzi et al., 1985), et a donc une aire de répartition s'étendant jusqu'aux zones non inondables du sud-est du Burkina Faso. La fréquence relative de l'inversion 2R_u par rapport à l'inversion 2R_b est toutefois beaucoup plus élevée à Gagaré (78%) que dans le sud-ouest du Burkina-Faso (12%) et le sud du Mali mais ceci peut être dû au fait que notre échantillon a été prélevé en début de saison sèche c'est à dire à une période de l'année où la fréquence de 2R_b est élevée et où celle de 2R_u est basse; l'observation des variations saisonnières et adaptatives des fréquences de ces arrangements est voisine de celle de Dobzhansky (1943) sur Drosophila pseudoobscura.

La position au rang d'espèce d'An. arabiensis et d'An. gambiae est désormais bien établie (Coluzzi et al., 1979). Par contre la position taxonomique d'An. gambiae Savane et d'An. gambiae Mopti reste à déterminer; elle est nécessairement infra-spécifique à cause d'une fréquence d'hybride non négligeable.

Pour expliquer ces degrés différents d'isolement génétique on peut avancer l'hypothèse de l'existence de barrières précopulatrices fortes entre An. arabiensis et An. gambiae et moins fortes entre An. gambiae Savane et An. gambiae Mopti (Coluzzi et al., 1985). Nous sommes convaincus que c'est l'hypothèse à retenir bien que les mécanismes de ces isolements reproductifs précopulatoires soient encore à élucider.

Le comportement particulier des membres de ce complexe dans leurs relations avec l'homme, donc dans la transmission du paludisme, renforce la nécessité de poursuivre de telles études cytogénétiques.

Remerciements: les auteurs remercient Monsieur Josué Feingold pour sa critique positive du manuscrit.

BIBLIOGRAPHIE

BRYAN J.H., DI DECO M.A., PETRARCA V. & COLUZZI M., 1982. Inversion polymorphism and incipient speciation in Anopheles gambiae s.str. in The Gambia, West Africa. Genetica, 59, 167-176.

CHAUVET G., DAVIDSON G. & DEJARDIN J., 1969. Validité d'une méthode chétotaxique de distinction des larves d'espèces A et B du complexe Anopheles gambiae à Madagascar. Cah. ORSTOM, sér. Ent. méd. et Parasitol., 7, 1, 51-60.

COLUZZI M., 1964. Morphological divergences in the Anopheles gambiae complex. Riv. Malariol., 43, 197-232

COLUZZI M., 1966. Osservazioni comparative sul cromosoma X nelle specie A e B del complesso Anopheles gambiae. Rend. Accad. Naz. Lincei, 40, 671-678.

COLUZZI M., 1968. Cromosomi politenici delle cellule nutrici ovariche nel complesso gambiae del genere Anopheles. Parassitologia, 9, 73-88.

COLUZZI M. & PETRARCA V., 1973. Aspirator with paper cup for collecting mosquitoes and other insects. Mosquito News, 33, 249-250.

COLUZZI M. & SABATINI A., 1967. Cytogenetic observations on species A and B of the Anopheles gambiae complex. Parassitologia, 9, 73-88.

COLUZZI M. & SABATINI A., 1968. Cytogenetic observations on species C of the Anopheles gambiae complex. Parassitologia, 10, 155-165.

COLUZZI M. & SABATINI A., 1969. Cytogenetic observations on the salt water species, Anopheles merus and Anopheles melas, of the gambiae complex. Parassitologia, 11, 177-187.

COLUZZI M., PETRARCA V. & DI DECO M.A., 1985. Chromosomal inversion intergradation and incipient speciation in Anopheles gambiae. Boll. Zool., 52, 45-63.

COLUZZI M., SABATINI A., PETRARCA V. & DI DECO M.A., 1979. Chromosomal differentiation and adaptation to human environments in the Anopheles gambiae complex. Trans. Roy. Soc. trop. Med. Hyg., 73, 483-497.

COZ J., 1973a. Contribution à l'étude du complexe A.gambiae. Répartition géographique et saisonnière en Afrique de l'Ouest. Cah. ORSTOM, sér. Ent. méd. et Parasitol., 11, 1, 3-31.

COZ J., 1973b. Contribution à la biologie du complexe Anopheles gambiae Giles en Afrique Occidentale. Cah. ORSTOM, sér. Ent. méd. et Parasitol., 11, 1, 33-40.

DAVIDSON G., 1956. Insecticide resistance in Anopheles gambiae Giles: a case of simple Mendelian inheritance. Nature, 178, 861-863.

DAVIDSON G., 1962. Anopheles gambiae complex. Nature, 196, 907.

DAVIDSON G. & HUNT R., 1973. The crossing and chromosome characteristics of a new sixth species in the Anopheles gambiae complex. Parassitologia, 15, 121-128.

DAVIDSON G. & JACKSON C.E., 1962. Incipient speciation in Anopheles gambiae Giles. Bull. Org. mond. Santé, 27, 303-305.

DI DECO M.A., PETRARCA V., VILLANI F., COLUZZI M., 1980. Recombination and linkage disequilibria between chromosome-2 inversions in Anopheles gambiae s.s.. Proc.3rd Europ. Multicoll.Parasit., Cambridge 7-13 Sept.1980. Abs.87.

DE MEILLON B., 1956. Aspects of malaria vector research in Africa. Bull.Wld. Hlth. Org., 15, 847-851.

DOBZHANSKY Th., 1943. Temporal changes in the composition of populations of Drosophila pseudoobscura. Genetics, 28, 162-186.

FRIZZI G. & HOLSTEIN M., 1956. Etude cytogénétique d'Anopheles gambiae. Bull.Wld. Hlth. Org., 15, 425-435.

HUNT R.H., 1973. A cytological technique for the study of Anopheles gambiae complex. Parassitologia, 15, 137-139.

PETRARCA V., PETRANGELI G., ROSSI P. & SABATINELLI G., 1986. Etude chromosomique d'Anopheles gambiae et Anopheles arabiensis à Ouagadougou (Burkina Faso) et dans quelques villages voisins. Parassitologia, 28, 41-61.

- PETRARCA V., VERCROYSSSE J. & COLUZZI M., 1987a. Observations on the Anopheles gambiae complex in the Senegal River Basin, West Africa. Med. Vet. Entomol., 1, 303-312.
- PETRARCA V., BEIER J.C., ONYANGO F., KOROS J., ASIAGO C., KOECH D., 1987b. Sporozoite and human blood indices in carriers of different inversion karyotypes of Anopheles gambiae and Anopheles arabiensis in Kisumu area, Western Kenya. Proceedings 3rd International Conference on Malaria and Babesiosis, Annecy, France, p.162.
- RIBBANDS C.R., 1944. Differences between Anopheles melas (A.gambiae var. melas) and Anopheles gambiae. The larval pecten. Ann. trop. Med. Parasitol., 38, 85-87.
- RISHIKESH N., DI DECO M.A., PETRARCA V. & COLUZZI M., 1985. Seasonal variations in indoor resting Anopheles gambiae and Anopheles arabiensis in Kaduna, Nigeria. Acta tropica, 42, 165-170.
- ROBERT V., PETRARCA V., CARNEVALE P., OVAZZA L. & COLUZZI M., 1989. Etude cytogénétique du complexe Anopheles gambiae dans la région de Bobo Dioulasso (Burkina Faso). Ann. Parasito. hum. comp., à paraître.
- SIEGEL S., 1957. Nonparametric statistics: for the behavioral sciences. Mc Graw-Hill Book Company, New York.
- TOURE Y.T., PETRARCA V., COLUZZI M., 1983. Nuove entità del complesso Anopheles gambiae in Mali. Parassitologia, 25, 367-370.
- WHITE G.B., 1974. Anopheles gambiae complex and disease transmission in Africa. Trans. Roy. Soc. trop. Med. Hyg., 68, 278-301.
- WHITE G.B., 1985. Anopheles bwambae sp.n.; a malaria vector in the Semliki Valley, Uganda, and its relationships with other sibling species of the An. gambiae complex (Diptera, Culicidae). Systematic Entomology, 10, 501-522.
- ZAHAR A.R., HILLS M. & DAVIDSON G., 1970. An attempt to group fresh water species of the Anopheles gambiae complex by some morphological larval and adult characters. Parassitologia, 12, 31-46.

Figure 1. Schémas des inversions rencontrées sur le bras chromosomique 2R d'*Anopheles arabiensis* et d'*An. gambiae* dans le village de Gagaré (Burkina Faso).

Figure 1. Diagrammatic representation of the inversions observed on chromosomal arm 2R in *Anopheles arabiensis* and *An. gambiae* in Gagaré village (Burkina Faso).

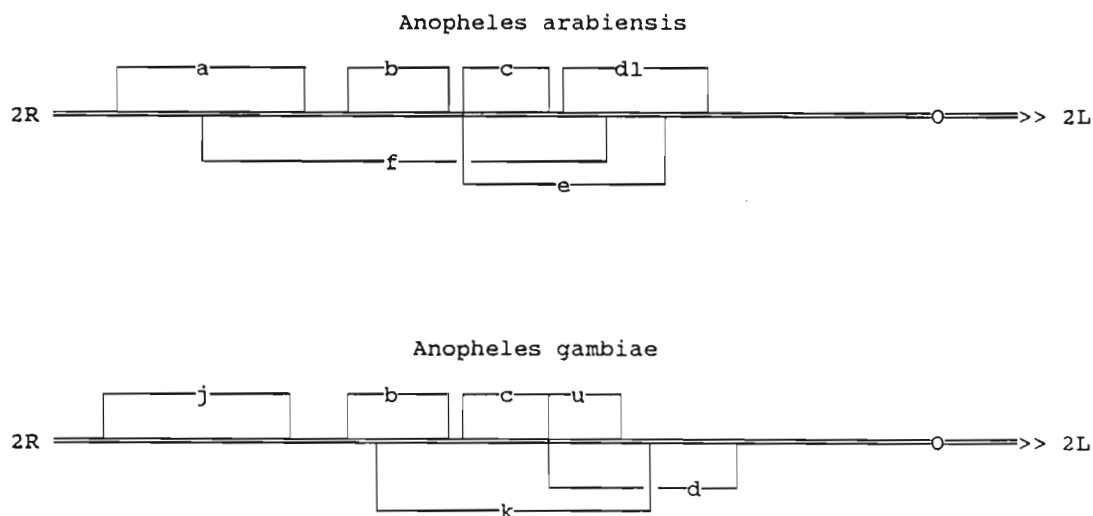


Tableau 1: Les arrangements chromosomiques des 138 *Anopheles arabiensis* prélevés du 18 au 20 septembre 1985, dans le village de Gagaré (Burkina Faso).

Systèmes	Arrangements	N	%
2Ra	+a	180	65,22
	a	82	29,71
	bf	14	5,07
2Rb	+b	4	1,45
	b	198	71,74
	bc	54	19,57
	be	6	2,17
	bf	14	5,07
2Rd ^l	+d ^l	247	89,49
	d ^l	9	3,26
	be	6	2,17
	bf	14	5,07
3Ra	+a	100	36,23
	a	176	63,77

Tableau 2: Caryotypes observés et attendus pour quatre systèmes d'inversions chromosomiques d'*Anopheles arabiensis*.

Systèmes	Arrangements	Observés	Attendus	(O-A) ² /A
2Ra	+a/+a	55	58,70	0,23
	+a/a	59	53,48	0,57
	+a/bf	11	9,13	0,38
	a/a	11	12,18	0,11
	a/bf	1	4,16	2,40
	bf/bf	1	0,36	1,14
				*X ² ₂ =2,70; P=0,26
2Rb	+b/+b	0	0,03	0,03
	+b/b	3	2,87	0,01
	+b/bc	1	0,78	0,06
	+b/be	0	0,09	0,09
	+b/bf	0	0,20	0,20
	b/b	67	71,02	0,23
	b/bc	45	38,74	1,01
	b/be	6	4,30	0,67
	b/bf	10	10,04	0,00
	bc/bc	3	5,28	0,99
	bc/be	0	1,17	1,17
	bc/bf	2	2,74	0,20
	be/be	0	0,07	0,07
	be/bf	0	0,30	0,30
	bf/bf	1	0,36	1,17
				*X ² ₄ =2,22; P=0,70
2Rd ¹	+d ¹ /+d ¹	110	110,52	0,00
	+d ¹ /d ¹	9	8,05	0,11
	+d ¹ /be	6	5,37	0,07
	+d ¹ /bf	12	12,53	0,02
	d ¹ /d ¹	0	0,15	0,15
	d ¹ /be	0	0,20	0,20
	d ¹ /bf	0	0,46	0,46
	be/be	0	0,07	0,07
	be/bf	0	0,30	0,30
	bf/bf	1	0,36	1,17
				*X ² ₃ =0,40; P=0,94
3Ra	+a/+a	17	18,12	0,07
	+a/a	66	63,77	0,08
	a/a	55	56,12	0,02
				X ² ₁ =0,17; P=0,68

* Les fréquences attendues inférieures à 2 ont été cumulées pour le calcul des X².

Tableau 3: Les arrangements chromosomiques des 90 *Anopheles gambiae* prélevés du 18 au 20 septembre 1984, dans le village de Gagaré (Burkina Faso). Un caryotype présentant les arrangements 2Rj et 2Rbk a été négligé.

Systèmes	Arrangements	N	%
2Ra	^{+b}	41	22,78
	<i>b</i>	80	44,44
	<i>bc</i>	59	32,78
2Rd	^{+d}	154	85,56
	<i>d</i>	18	10,00
	<i>u</i>	8	4,44
2La	^{+a}	2	1,11
	<i>a</i>	178	98,89

Tableau 4: Caryotypes observés et attendus pour deux systèmes d'inversions chromosomiques d'*Anopheles gambiae*.

Systèmes	Arrangements	Observés	Attendus	(O-A) ² /A
2Rb	^{+b/+b}	5	4,67	0,02
	^{+b/b}	6	18,22	8,20
	^{+b/bc}	25	13,44	9,94
	<i>b/b</i>	28	17,78	5,87
	<i>b/bc</i>	18	26,22	2,58
	<i>bc/bc</i>	8	9,67	0,29
				X ² ₂ =26,9; P<<0,01
2Rd	^{+d/+d}	65	65,88	0,01
	^{+d/d}	16	15,40	0,02
	^{+d/u}	8	6,84	0,20
	<i>d/d</i>	1	0,90	0,01
	<i>u/u</i>	0	0,18	0,18
	<i>u/d</i>	0	0,80	0,80
				X ² ₂ =1,22; P=0,54

Tableau 5: Nombre et fréquence des caryotypes d'inversion du bras 2R *in toto* des 90 *Anopheles gambiae* récoltés à Gagaré et leur regroupement en formes chromosomiques Savane et Mopti (1 caryotype présentant les arrangements 2R_j et 2R_{bk} a été négligé).

2R	bu	bd	bcd	b	+	u	bc
bc	1 1,11	2 2,22	- 0,00	4 4,44	18 20,00	5 5,56	7 7,78
u	- 0,00	- 0,00	- 0,00	- 0,00	2 2,22	- 0,00	
+	- 0,00	- 0,00	2 2,22	6 6,67	3 3,33		
b	-	1 1,11	11 12,22	27 30,00			
bcd	- 0,00	- 0,00	1 1,11				
bd	- 0,00	- 0,00					
bu	- 0,00						

MOPTI

SAVANE

Tableau 6: Les arrangements chromosomiques des 50 *Anopheles gambiae* Savane et 33 *An.gambiae* Mopti prélevés du 18 au 20 septembre 1984, dans le village de Gagaré (Burkina Faso).

Systèmes	Arrangements	SAVANE		MOPTI	
		N	%	N	%
2Rb	+b	12	12,00	29	43,94
	b	73	73,00	0	0,00
	bc	15	15,00	37	56,06
2Rd	+d	84	84,00	59	89,39
	d	16	16,00	0	0,00
	u	0	0,00	7	10,61

Tableau 7: Effectifs observés et attendus des 50 *Anopheles gambiae* Savane et 33 *An.gambiae* Mopti prélevés dans le village de Gagaré (Burkina Faso).

Systèmes Arrangements		S A V A N E			M O P T I		
		Observés	Attendus	(O-A) ² /A	Observés	Attendus	(O-A) ² /A
2Rb	+b/+b	2	0,72	2,28	3	6,37	1,78
	+b/b	6	8,76	0,87	0	-	-
	+b/bc	2	1,80	0,02	23	16,26	2,79
	b/b	28	26,65	0,07	0	-	-
	b/bc	11	10,95	0,00	0	-	-
	bc/bc	1	1,12	0,01	7	10,37	1,10
				*X ² ₂ =1,45; P=0,48	X ² ₂ =5,67; P=0,06		
2Rd	+d/+d	35	35,28	0,00	26	26,37	0,01
	+d/d	14	13,44	0,02	0	-	-
	+u/u	0	-	-	7	6,26	0,09
	d/d	1	1,28	0,06	0	-	-
	u/u	0	-	-	0	0,37	0,37
	u/d	0	-	-	0	-	-
				*X ² ₂ =0,01; P=0,99	X ² ₂ =0,03; P=0,98		

* Les fréquences attendues inférieures à 2 ont été cumulées pour le calcul des X².

Analyse cytogénétique du complexe Anopheles gambiae dans la région de Bobo-Dioulasso (Burkina Faso) (1)

Vincent ROBERT (2)

Vincenzo PETRARCA (3)

Pierre CARNEVALE (2)

Léone OVAZZA (2)

Mario COLUZZI (3)

(1) Cette recherche a bénéficié d'une aide financière du Programme spécial de recherche et de formation pour les maladies tropicales PNUD/Banque Mondiale/OMS et de la Commission des Communautés Européennes.

(2) Antenne ORSTOM du Centre Muraz - B.P. 171 - Bobo-Dioulasso - BURKINA FASO.

(3) Istituto di Parassitologia - Università di Roma "La Sapienza" - Piazzale A. Moro 5 - 00185 Roma - ITALIA.

RESUME

L'analyse cytogénétique du complexe Anopheles gambiae effectuée pendant quatre années consécutives dans les environs de Bobo-Dioulasso confirme que cette région est une zone de sympatrie entre An.arabiensis et An.gambiae. Sur près de 3000 femelles semi-gravides aucun hybride n'a été observé. An.gambiae représente environ 90% des effectifs du complexe et An.arabiensis, 10%. Sur le plan cytogénétique, la structure de ces deux espèces se caractérise par un important polymorphisme. Cinq inversions chromosomiques paracentriques ont été recensées chez An.arabiensis et six chez An.gambiae. De l'association de ces inversions et de leurs fréquences, on peut déduire, sur le plan génétique, que:

An.arabiensis se présente comme une seule population où les croisements sont aléatoires,

An.gambiae est composé de deux populations partiellement isolées sur le plan reproductif. Chaque population correspond à une forme chromosomique. La forme Mopti est caractérisée par les arrangements 2R_bc et 2R_u; la forme Savane par 2R_b.

Presque tous les individus (96%) de l'espèce An.gambiae appartiennent à une de ces deux formes chromosomiques. Les autres (4%) peuvent être interprétés comme des hybrides ou recombinants entre les deux formes sauf quelques cas non classés.

Les deux formes coexistent dans la plupart des localités prospectées sauf dans la zone rizicole de la Vallée du Kou où An.gambiae Mopti est présent seul ou presque. Cette zone de riziculture irriguée, écologiquement très différente de la savane alentour, permet localement le maintien de populations d'An.gambiae et d'An.arabiensis chromosomiquement différenciées de celles des populations de savane.

Dans le cas d'Anopheles gambiae la forme chromosomique Mopti domine dans les zones à gîtes larvaires productifs en saison des pluies comme en saison sèche, tandis que la forme Savane prend l'avantage là où les gîtes sont temporaires et limités à la saison des pluies.

MOTS CLES: Anopheles gambiae, Anopheles arabiensis, cytogénétique, écologie, Burkina Faso.

CYTOGENETIC INVESTIGATIONS ON THE ANOPHELES GAMBIAE COMPLEX IN BOBO-DIOULASSO REGION (BURKINA FASO).

ABSTRACT

Cytogenetic investigations were carried out on the Anopheles gambiae complex during four consecutive years in the area of Bobo-Dioulasso (Burkina Faso). An.gambiae and An.arabiensis are confirmed to be sympatric in this zone. Out of 3,000 half-gravid females examined no hybrid was observed. This confirms the genetic isolation of the two sibling species.

Anopheles gambiae represents about 90% of the specimens collected and An.arabiensis 10%. The cytogenetic analysis reveals that both species are characterized by a high level of chromosomal polymorphism. Five paracentric inversions were recorded in An.arabiensis and six in An.gambiae. The study of the associations of these inversions and of their frequencies shows that: i) An.arabiensis appears as a single population whose individuals are crossing at random; ii) An.gambiae includes two populations showing partial reproductive isolation.

Each of the two Anopheles gambiae populations can be referred to a chromosomal form. The form Mopti is characterized by arrangements 2R_{bc}, 2R_u; the form Savanna by 2R_b. The arrangement 2L_a is nearly fixed in the Mopti form, while it shows a significant lower frequency in the Savanna form.

Almost all specimens of An.gambiae (96%) belong to one of these chromosomal forms. The remaining specimens (4%) can be interpreted either as hybrids or recombinants between the two forms or as not classified.

The karyotype analysis shows obvious departures from Hardy-Weinberg equilibrium if it is carried out on mixed samples of the two forms, while a good agreement with Hardy-Weinberg equilibrium is generally observed when the analysis is limited to each form.

The two chromosomal forms are coexisting in most of the localities examined with the exception of the central part of the rice-cultivated area of Kou Valley where Mopti is practically alone.

The chromosomal form Mopti is prevailing in areas with non-seasonal larval breeding places which are productive in the rainy season as well as in the dry season. On the contrary, the Savanna form is frequent where breeding places are temporary and limited to the rainy season.

KEY WORDS: Anopheles gambiae, Anopheles arabiensis, cytogenetic, ecology, Burkina Faso.

1. INTRODUCTION

Le complexe Anopheles gambiae Giles 1902 est probablement le plus étudié et le plus finement analysé des complexes d'espèce d'intérêt médical. Dans les années 1940 était déjà acquis qu'Anopheles gambiae sensu lato présentait une hétérogénéité dans ses capacités comme vecteur de paludisme dans différentes parties de l'Afrique (De Meillon, 1956). La découverte de populations à stades préimaginaux halophiles sur le pourtour de l'Afrique introduisait d'autres différences (Ribbands, 1944). L'emploi généralisé d'insecticides lors des campagnes de lutte antipaludique a suscité des comportements-réponses très variables selon les localités (Davidson, 1956) faisant suspecter l'existence de taxons différents. C'est en 1962 qu'éclata définitivement le taxon An.gambiae s.l. grâce à la méthode des croisements avec des souches de références (Davidson & Jackson, 1962; Davidson, 1962). A la suite de ces découvertes, des études de morphologie ont été reprises avec du matériel biologique identifié génétiquement; elles ont montré une similitude complète entre les différentes espèces sauf pour les espèces halophiles vis à vis des espèces dulcaquicoles (Coluzzi, 1964) ou pour certaines populations marginales (Chauvet et al., 1969; Zahar et al., 1970). La technique morphologique classique était inopérante et la technique mixiologique nécessitait trop de temps; une nouvelle technique était nécessaire pour déterminer les espèces et analyser plus avant leurs inter-relations.

L'étude cytogénétique des chromosomes polyténiques des glandes salivaires du quatrième stade larvaire (Frizzi & Holstein, 1956) et des cellules trophocytaires de l'ovocyte du stade de Christophers III fin à IV début (Coluzzi, 1968) s'est avérée la plus performante et s'est généralisée. Les chromosomes des cellules nourricières sont plus utilisés car ils sont rencontrés chez la femelle adulte, ils sont plus facilement accessibles et ils procurent une fréquence supérieure de préparations réussies. Ces études chromosomiques ont permis de définir cytotauxonomiquement les différentes espèces du complexe An.gambiae (Coluzzi, 1966; Coluzzi & Sabatini, 1967, 1968, 1969; Davidson & Hunt, 1973).

Ces espèces sont au nombre de six. An.gambiae (ancienne espèce A) et An.arabiensis (ancienne espèce B) sont les plus anthropophiles et les meilleurs vecteurs de paludisme, de filariose de Bancroft et d'arboviroses. En général, An.gambiae domine en zone de forêt et de savane humide (Coz, 1973a). An.arabiensis est plus zoophile et plus exophile qu'An.gambiae. Ces deux espèces sont sympatriques dans la quasi totalité de la zone afrotropicale non méridionale. An.quadriannulatus (ancienne espèce C) est strictement zoophile et est rencontré en Ethiopie et dans l'Est de l'Afrique méridionale. Les larves de ces trois espèces vivent dans l'eau douce, contrairement à celles des trois suivantes. Les larves d'An.bwambiae (ancienne espèce D) vivent dans les sources d'eau minérale de la forêt de Semliki en Ouganda (White, 1985). Les larves d'An.melas et d'An.merus vivent en eau saumâtre, respectivement sur le littoral Ouest et Est de l'Afrique. Ces trois dernières espèces sont allopatriques entre elles mais sympatriques à la fois avec An.gambiae et/ou An.arabiensis (White, 1974).

Chacune de ces six espèces est manifestement protégée par d'efficaces mécanismes d'isolement reproductif. Ces mécanismes ne sont pas encore formellement identifiés mais certainement relatifs à des composants éthologiques, agissant avant la copulation (Coluzzi et al., 1985). Bien que la possibilité d'hybridation existe dans de nombreuses zones de sympatrie, les hybrides naturels entre ces six espèces sont très rares. Les hybrides obtenus par croisements expérimentaux sont le plus souvent viables. La stérilité est de règle seulement pour les mâles hybrides.

Les études effectuées au Burkina Faso (ex-Haute Volta) par Coz (1973 a et c) ont démontré qu'An.gambiae et An.arabiensis sont sympatriques dans tout le pays et que leur fréquence relative est fonction des conditions climatiques. An.gambiae domine dans la partie méridionale humide du pays, alors qu'An.arabiensis est mieux représenté dans les steppes sahéliennes.

Des études plus récentes portant sur le polymorphisme génétique des membres de ce complexe en association avec un environnement anthropisé, ont eu pour cadre le Nigeria (Coluzzi et al., 1979), la Ségambie (Bryan et al., 1982; Petrarca et al., 1987) et le Mali (Touré et al., 1983). Il a été montré que l'étude des inversions chromosomiques donnait d'importantes

informations sur le polymorphisme génétique de population naturelles du complexe. Il a aussi été montré chez An. gambiae s.s. qu'une grande hétérogénéité génétique était liée à un processus de spéciation en cours et que les inversions chromosomiques en constituait un excellent marqueur (Coluzzi et al., 1985).

Dans la région de Bobo-Dioulasso la création du périmètre rizicole de la Vallée du Kou a bouleversé le biotope originel et a selectivement favorisé comme vecteur An.gambiae s.l.. Cette zone constitue un paradoxe épidémiologique que l'on peut schématiser par: plus de piqûres d'anophèles que dans les villages de savane avoisinante mais moins de transmission du paludisme. Parmi les hypothèses avancées pour tenter d'expliquer cette situation il a été envisagé une modification de la structure génétique des populations de ce vecteur due aux changements écologiques occasionnés par la riziculture (Robert et al., 1985).

Les résultats présentés dans cette étude sont obtenus à partir de moustiques récoltés de 1981 à 1984 et n'ont, jusqu'à présent, donné lieu qu'à des communications (Robert et al., 1986; Petrarca et al., 1986).

2. DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE

Les localités prospectées sont situées à moins de 55 km de la ville de Bobo-Dioulasso, deuxième ville du Burkina Faso, située au sud-ouest du pays.

Le climat est caractérisé par l'alternance de deux saisons très contrastées qui se succèdent sans véritable transition. La saison des pluies dure de début mai à fin octobre avec un maximum de précipitation en août. La saison sèche dure de début novembre à fin avril. L'humidité est particulièrement basse de décembre à février. Les précipitations annuelles varient autour de 1000 mm.

Décembre et janvier sont les mois les plus frais (minima moyen de 17°). Il existe deux pics thermiques en mars (maxima moyen de 37°) et en novembre (maxima moyen de 34°). Ces pics encadrent la saison pluvieuse dont les variations de température sont inversement proportionnelles aux précipitations (maxima moyen de 29° en août).

La zone considérée est une savane arborée. Elle appartient à la marge sud des savanes soudaniennes. La strate herbacée est très dense et très fournie; elle est ordinairement brûlée en début de saison sèche et repousse dès les premières pluies. Les cours d'eau permanents ou temporaires sont bordés de grands arbres qui forment des galeries forestières.

L'ethnie majoritaire est Bobo. L'habitat traditionnel est constitué par des maisons parallélépipédiques à murs de banco et toit de bois recouvert de banco. On trouve aussi des maisons circulaires de type Mossi avec murs de banco et toit de paille de forme conique. Depuis peu, on rencontre de plus en plus de maisons recouvertes avec des tôles ondulées. L'usage des moustiquaires de lit est exceptionnel.

Les douze villages prospectés en savane sont installés à proximité immédiate d'un cours d'eau. Cinq (Desso, Kokorowé, Toukouro, Samandéni, et Séguéré) sont implantés le long d'un cours d'eau permanent. Un (Karankasso) est implanté en bordure d'un cours d'eau semi-permanent qui tarrit parfois en saison sèche après une saison des pluies déficitaire. Enfin six (Baré, Dandé, Kouentou, Koro, Pala, Soumouso) sont implantés en bordure de cours d'eau temporaires qui ne coulent pas en saison sèche; dans les villages de Pala et de Koro aucune eau de surface ne subsiste en saison sèche, excluant toute possibilité d'existence de gîte anophélien préimaginal.

La zone rizicole de la Vallée du Kou située à 30 km au nord de Bobo-Dioulasso est très particulière. Depuis la réalisation du projet en 1970, un vaste domaine de 1000 hectares d'un seul tenant est irrigué pratiquement en permanence grâce à l'eau détournée d'une rivière (le Kou), amenée par un large canal cimenté. Deux cycles de cultures ont lieu par an, l'un, en saison des pluies de juillet à novembre, l'autre, dit de "contre saison", de janvier à juin, en grande partie

pendant la saison sèche. Six villages construits de toutes pièces abritent 12000 personnes qui sont majoritairement de l'ethnie Mossi. Ces villages sont nommés par un numéro de 1 à 6 précédé des lettres V.K. (ex: VK4 désigne le village Vallée du Kou numéro 4). Un septième, Bama, est ancien mais a été transformé par la rizière. Dans ces villages les cases sont alignées, le plus souvent parallélépipédiques avec des murs de banco et toit de tôle, d'autres sont du type Mossi déjà décrit. L'usage des moustiquaires de lit est la règle. Contrairement à ce qui est observé en savane, le gros bétail, tel que les boeufs de labour, passe la nuit à l'intérieur des villages de rizière, dans la cour des habitations.

3. MATERIEL ET METHODES

Toutes les analyses cytogénétiques ont été conduites à partir de femelles semi-gravides prélevées dans les habitations. Une première méthode de collecte a consisté à récolter les moustiques le matin, de façon non traumatique avec un aspirateur spécial décrit par Coluzzi et Petrarca (1973), puis à les maintenir dans de bonnes conditions jusqu'au stade semi-gravide. Une seconde méthode, basée sur la pulvérisation d'insecticide non rémanent à effet "knock down" entre 15h et 18h a été plus employée car elle a procuré un meilleur rendement et un pourcentage supérieur de préparations exploitables. Quelle que soit la méthode, les chromosomes sont fixés dans du Carnoy (1/4 acide acétique glacial, 3/4 ethanol absolu) soit en y plongeant le moustique entier, soit seulement les ovaires. Une fois fixés les prélèvements ont été conservés 24h à température ambiante puis à -20° où ils peuvent attendre plusieurs mois. Les préparations ont été effectuées selon la technique de Hunt (1973), utilisant une coloration à l'orceine acéto-lactique. La lecture des séquences de bande des chromosomes polyténiques a été faite au microscope à contraste de phase suivant la nomenclature de Coluzzi *et al.* (1979). Chacun des trois chromosomes est désigné par un numéro. Le chromosome 1 est l'hétérochromosome; il est télocentrique. Les chromosomes 2 et 3 sont autosomaux et submétacentriques. Les bras de part et d'autre du centromère sont désignés par les lettres R ou L mis pour "right" ou "left". Les inversions sont désignées par des lettres minuscules sur chaque bras. L'arrangement standard de référence est notée +. Ce même symbole, avec une notation particulière, peut désigner l'arrangement standard d'une section du bras chromosomique; par exemple 2R +^a désigne l'alternative standard de l'inversion a du bras droit du chromosome 2. L'ensemble de tous les arrangements alternatifs d'une portion de bras chromosomique constitue un système d'inversion. Ces arrangements alternatifs sont d'autre part à l'origine d'une série de caryotypes exclusifs les uns des autres.

4. RESULTATS

Un total de 2886 préparations a été exploité. Les préparations partiellement lisibles n'ont pas été comptabilisées.

4.1. Identification et distribution des membres du complexe.

Deux espèces, *An.gambiae* et *An.arabiensis*, ont été rencontrées. Aucun hybride n'a été trouvé. *An.gambiae* est l'espèce dominante avec 88% des effectifs, (tableau I). *An.arabiensis* est présent dans presque tous les échantillons mais jamais dans des proportions supérieures à 1/4 des effectifs du complexe. En rizière *An.arabiensis* est mieux représenté (14,61% des effectifs du complexe) qu'en savane (6,15%). Dans la zone rizicole *An.arabiensis* est relativement mieux représenté dans les villages de la périphérie (16,16%) que dans ceux du centre (3,64%). Il est aussi significativement mieux représenté dans des gîtes de repos tels que les poulaillers plutôt que les chambres à coucher: à VK6, les 24 et 25 septembre 1981, *An.arabiensis* représentait 34,8% (100/290) dans les chambres à coucher et 62,1% (59/95) dans deux poulaillers abandonnés dans la cour des maisons prospectées (chi 2 = 21,4 - P<<0,001).

4.2. Le polymorphisme chromosomique d'*An.arabiensis*

Pour le bras 2R cinq inversions ont été observées: a, b, c, d¹ et f (figure 1); elles forment les arrangements a, b, bc, d¹ et bf. Ces arrangements appartiennent à trois systèmes d'inversions qui concernent chacun des régions différentes du chromosome:

2Ra: avec les arrangements +^a, a et bf;
 2Rb: avec les arrangements +b, b, bc et bf;
 2Rd: avec les arrangements +d, d et bf.

Pour ces trois systèmes les fréquences des arrangements observés en savane et en rizières sont comparables (tableau II). Pour le système 2Ra l'arrangement standard est le plus fréquent (85,1%), suivi de l'inversé a alors que bf est rare. Pour le système 2Rb l'inversé b est le plus fréquent (74,6%), suivi de bc (23,1%); les arrangements standard et bf sont rares. Pour le système 2Rd le standard est très majoritaire et l'inversé d peu fréquent. Les principaux arrangements observés sur la totalité du bras chromosomique 2R sont, par ordre d'importance numérique décroissant: b, bc et ab. Il existe également des chromosomes abc, bd, a, d et bf.

Pour le bras 3R la seule inversion a a été observée. L'arrangement inversé est mieux représenté en savane (67,6%) qu'en rizières (45,6%) (tableau II); la différence est significative ($P < 0,001$).

Dans l'échantillon numériquement le plus grand, qui représente près de la moitié des *An.arabiensis* récoltés pendant la totalité de l'étude, les fréquences des inversions observées sur 2R et 3R ne s'écartent pas significativement de celles calculées selon la loi d'Hardy-Weinberg (tableau III). Il en va de même pour les autres échantillons statistiquement exploitables.

4.3. Le polymorphisme chromosomique d'*An.gambiae*

Pour le bras 2L la seule inversion a a été observée (figure 1 et tableau IV). L'arrangement inversé est très fréquent et représente 98,2% des arrangements totaux. L'arrangement standard est rare; en savane il a une fréquence de 5,3% et a été rencontré 3 fois à l'état homozygote, en rizières il a montré une fréquence bien plus faible (0,06%). La différence de fréquence de 2L^a entre ces deux biotopes est significative ($P < 0,001$).

Pour le bras 2R six inversions ont été rencontrées: j, b, c, d, u et k; elles forment six arrangements inversés: j, b, bc, d, u et bk.

Les arrangements j et bk sont très rares (respectivement 0,3% et 0,1%). Ils ont été observés uniquement en savane et pas en rizières (tableau IV); cette différence de fréquence entre les deux biotopes est significative ($P < 0,01$ pour j et pour bk). Eu égard à leurs fréquences ces deux arrangements seront négligés par la suite.

Les arrangements b, bc, d, u, et + du bras 2R appartiennent à deux systèmes d'inversions (tableau IV):

2Rb avec +b, b et bc, très polymorphe en savane et en rizières. En savane l'arrangement b est le plus fréquent (47,9%) suivi par + (33,3%) et bc (18,4%); en rizières ce sont les arrangements bc (47,4%) et + (49,7%) qui sont les plus fréquents; l'arrangement b est rare (2,9%). Les différences de fréquence de ces trois arrangements entre la savane et la rizières sont très significatives ($P < 0,001$ pour chaque comparaison).

2Rd avec +d, d et u, très polymorphe en rizières. L'arrangement d est rare, rencontrés dans 1,9% des arrangements totaux; il est mieux représenté en savane (3,3%) qu'en rizières (1,2%). En savane l'arrangement + est le plus fréquent (81,7%) suivi par u (14,6%), tandis que en rizières les fréquences sont 58,8% et 40,0%, respectivement. Les différences de fréquence de ces trois arrangements entre la savane et la rizières sont très significatives ($P < 0,001$ pour chaque comparaison).

Pour ces deux systèmes l'équilibre de Hardy-Weinberg est vérifié en rizières mais pas en savane (tableau V).

La fréquence des différents caryotypes du bras 2R *in toto* n'est pas non plus aléatoire. Quelques caryotypes polyhétérozygotes ont une configuration cytologique très semblable (par exemple bcd/b et bc/bd); leur discrimination, basée sur la séquence des bandes des homologues, n'a pas toujours été possible lorsque la préparation chromosomique n'était pas excellente.

L'attribution de ces caryotypes a été décidée à partir des fréquences relatives des caryotypes et des arrangements homozygotes donc indiscutables. En savane (tableau VIa) les caryotypes $\underline{b}/\underline{b}$ et $\underline{b}/+$ d'une part, et $\underline{u}/+$, $\underline{bc}/+$, $\underline{u}/\underline{u}$, $\underline{bc}/\underline{u}$ et $\underline{bc}/\underline{bc}$ d'autre part, sont abondants. Les deux caryotypes $\underline{b}/\underline{u}$ et $\underline{b}/\underline{bc}$ sont rares, respectivement 1 et 13 observations, alors que leurs effectifs attendus en accord avec l'équilibre de Hardy-Weinberg sont respectivement 114,13 et 131,97. En rizière (tableau VIb) seuls les caryotypes $\underline{u}/+$, $\underline{u}/\underline{u}$, $\underline{bc}/+$, $\underline{bc}/\underline{u}$ et $\underline{bc}/\underline{bc}$ sont bien représentés. L'ensemble de ces observations montre l'existence dans les échantillons prélevés en savane des formes chromosomiques "Savane" et "Mopti" selon la nomenclature de Touré *et al.* (1983) reprise par Coluzzi *et al.* (1985). En rizière la forme Mopti est la seule présente ou presque.

Des analyses, en rizière et en savane, portant sur l'ensemble des caryotypes les plus fréquemment rencontrés, confirment un considérable déséquilibre de Hardy-Weinberg si on considère ensemble les arrangements \underline{bc} , \underline{b} , \underline{u} et $+$. Ce déséquilibre est éliminé ou presque si on analyse séparément les arrangements \underline{b} et $+$ d'une part et \underline{bc} et \underline{u} d'autre part (tableau VII). Le fait que l'équilibre d'Hardy-Weinberg n'est pas tout à fait vérifié dans l'échantillon du biotope de rizière pourrait être lié au faible nombre de moustique examinés et/ou à l'effet Wahlund (voir Wallace, 1981).

4.4. Les deux formes chromosomiques d'*An.gambiae* s.s.

La forme Savane est caractérisée essentiellement par les arrangements $2R\underline{b}$ et $2L\underline{a}$. Les arrangements $2R\underline{d}$, $2R\underline{bcd}$ et $2R\underline{bcd}$ appartiennent aussi à cette forme et sont beaucoup plus rares dans la zone. La forme Mopti est caractérisée par le polymorphisme $2R\underline{bc}/\underline{u}$ et l'inversion $2L\underline{a}$ fixée. Le caryotype standard appartient aux deux formes chromosomiques (tableaux VIa et VIb).

L'ensemble des caryotypes qui n'est pas assimilable ni à la forme Savane ni à la forme Mopti est constitué d'individus soit issus d'un croisement entre deux parents appartenant chacun à une des deux formes, soit issus d'au moins un gamète recombiné, soit présentant au moins une inversion très rare. Cet ensemble hétérogène d'hybrides, de recombinaisons et de non classés représente 4% de l'échantillon total d'*An.gambiae* (tableaux VIa et VIb).

L'arrangement $2L^{+a}$ a été rencontré 87 fois dans la forme Savane et seulement 2 fois dans la forme Mopti. Dans la forme Savane, la fréquence de cet arrangement est 8,6% dans les villages de savane; elle atteint un maximum de 12% dans le village de Pala. Les trois observations homozygotes concernent les villages de Pala, Koro et Dandé où la fréquence de la forme Savane est élevée. Ainsi la fréquence de l'arrangement $2L^{+a}$ est liée à celle de la forme Savane.

En zone de savane

Les deux formes chromosomiques coexistent dans la plupart des localités prospectées (figure 2). Leurs fréquences respectives sont largement dépendantes des conditions écologiques locales. Dans les six villages implantés le long d'un cours d'eau temporaire les fréquences relatives des formes Savane et Mopti sont respectivement de 82,1% et 12,2%; dans les six autres villages implantés le long d'un cours d'eau permanent ou semi-permanent elles sont de 33,3% et 64,1% (tableau VII). Cette différence de fréquence dans les villages avec ou sans gîtes larvaires en saison sèche est très significative ($P < 0,0001$).

La forme Savane est avantagée dans les milieux les plus secs, où les gîtes larvaires ont un caractère temporaire dépendant des pluies. Par exemple cette forme occupe seule le village de Pala, installé à flanc de coteau et elle est majoritaire dans tous les villages qui ne sont pas implantés à proximité d'un cours d'eau permanent (tableau VII).

La forme Mopti est avantagée dans les milieux humides, dans les zones inondées et le long des cours d'eau permanents où les gîtes larvaires présentent un caractère permanent ou subpermanent. Par exemple, dans le village de Séguéré, situé en bordure de la rivière permanente Volta Noire (figure 2), 90% des *An.gambiae* appartiennent à cette forme.

En zone rizicole irriguée

La forme Mopti est pratiquement la seule présente. La forme Savane est très rare au centre de la rizière (1,3%) et est plus fréquente en périphérie (3,3%).

Au sein de la forme Mopti il existe des variations de fréquence des arrangements 2R \underline{bc} et 2Ru. Au milieu de la saison des pluies la fréquence de l'arrangement \underline{bc} est minimale et celle de l'arrangement \underline{u} maximale et au milieu de la saison sèche, c'est l'inverse; par exemple à VK6 en avril 1984, $\underline{bc/bc}$ représentait 81% de la forme Mopti et en août, 42%. D'autre part la fréquence du caryotype $\underline{bc/bc}$ est significativement plus grande parmi les An.gambiae au repos le jour dans des chambres à coucher que parmi ceux reposant dans des poulaillers (tableau IX).

5. DISCUSSION

La présente analyse cytogénétique s'inscrit dans le cadre d'une vaste étude de la distribution des taxa du complexe An.gambiae en Afrique de l'Ouest (Coluzzi et al., 1985).

Dans la région de Bobo-Dioulasso, la présence d'An.gambiae et d'An.arabiensis, ainsi que la prééminence numérique d'An.gambiae se confirment (Coz, 1973a). L'absence d'hybride, après quelques 3000 observations, prouve l'isolement reproductif de ces deux taxons et le bien fondé de leur statut spécifique. Ceci ne remet évidemment pas en cause les rares cas certifiés d'hybridation naturelle (White, 1971) mais confirme leurs caractère exceptionnel.

L'homogénéité génétique d'An.arabiensis observée dans la région de Bobo-Dioulasso est en accord avec les conclusions de Coluzzi et al. (1979) au Nigeria et de Touré et al. (1983) au Mali. L'hétérogénéité génétique d'An.gambiae est due à l'existence de deux formes chromosomiques: Savane et Mopti, rencontrées aussi au Mali.

Les fréquences relatives de ces formes chromosomiques sont liées aux conditions physico-géographiques locales. Dans les villages installés à proximité des rivières permanentes procurant des gîtes préimaginaux même pendant la saison sèche, la forme Mopti prédominerait à la faveur d'un avantage adaptatif déterminant en saison sèche. La prééminence numérique de la forme Savane dans les localités où les gîtes préimaginaux sont temporaires et dépendants de la saison de pluies, serait liée à un avantage de cette forme en saison de pluies et/ou à l'impossibilité pour la forme Mopti d'exploiter son avantage en saison sèche.

A cet égard la zone rizicole de la Vallée du Kou constitue un bel exemple de l'influence des conditions écologiques locales sur la constitution génétique des populations du complexe. Au centre de la rizière An.arabiensis est faiblement représenté et la forme Mopti d'An.gambiae est pratiquement le seul taxon rencontré du complexe. Une situation semblable a été observée par Touré et al., (1983) dans le delta intérieur du fleuve Niger au Mali. Cette convergence dans la structure génétique du complexe, observée dans deux zones géographiquement éloignées aurait pour base écologique l'inondation naturelle dans un cas et l'irrigation artificielle dans l'autre.

Les quatre villages les plus proches de la zone rizicole sont ceux où la fréquence d'An.gambiae Mopti est la plus élevée (figure 2). Ceci pourrait indiquer qu'un "effet rizière" serait perceptible au moins à une dizaine de kilomètres. En fait, il n'en est rien car des études complémentaires (à paraître) ont montré que cet effet est beaucoup plus limité dans l'espace. Le fort pourcentage de la forme Mopti observé dans ces villages est en réalité dépendant des seules caractéristiques locales du milieu.

Dans des conditions écologiques apparemment comparables à celles de la Vallée du Kou, Petrarca et al., (1987) ont observé qu'au nord du Sénégal c'est An.arabiensis qui domine alors qu'An.gambiae Mopti est absent. Cette information, associée à l'abondance et à la présence quasi exclusive d'An.gambiae Mopti au centre de la rizière de la Vallée du Kou (semblant utiliser la totalité de la niche écologique exploitable par le complexe), suggèrent qu'il convient de discuter de l'occupation d'un biotope en termes d'adaptation et de compétition.

Les différences significatives des fréquences de certains arrangements d'An.arabiensis et d'An.gambiae entre la zone rizicole et la savane typique avoisinante supposent une forte pression selective propre à la zone rizicole et/ou un isolement génétique des populations de rizière et de savane, c'est-à-dire une faible dispersion des moustiques.

En Vallée du Kou les faibles indices sporozoïtiques régulièrement relevés depuis plusieurs années chez des An.gambiae s.l. capturés sur sujets humains (Robert *et al.*, 1985) ne paraissent pas devoir être attribués à une faible susceptibilité d'An.gambiae Mopti à Plasmodium falciparum (Touré *et al.*, 1986). Des phénomènes éthologiques ou physiologiques (déviation zoophile, longévité réduite, forte dispersion, etc.) semblent devoir être envisagés pour expliquer cette situation particulière. Cependant il est possible que des différences dans la bioécologie des individus de ce taxon porteurs de l'arrangement u, soient impliquées dans la modification des modalités de transmission du paludisme en Vallée du Kou (Robert *et al.*, 1986). Quoi qu'il en soit, ces faibles indices sporozoïtiques observés chez An.gambiae s.l. ne sont pas dus à une éventuelle colonisation massive de la rizière par An.arabiensis dont on sait qu'il est plus zoophile qu'An.gambiae (Coz, 1973b). En effet, bien que mieux représenté en rizière qu'en savane, An.arabiensis reste toujours minoritaire en rizière et est même pratiquement absent de la zone centrale. Toutefois rappelons que nos conclusions sont basées sur des captures diurnes de moustiques endophiles; ce mode de prélèvement sous estime peut-être la densité réelle d'An.arabiensis. Mais si tel est le cas, sa zoophilie est probablement très marquée diminuant d'autant ses contacts avec l'homme.

Au sein de l'espèce An.gambiae, la coexistence de deux populations sympatriques, partiellement isolées sur le plan génétique, constitue une situation inhabituelle compatible avec un processus de spéciation en cours. L'isolement génétique est très probablement dû à l'existence de barrières précopulatrices de nature éthologique, entraînant un évitement des partenaires sexuels potentiels qui n'appartiendraient pas à la même forme chromosomique (Coluzzi *et al.*, 1985). Toutefois cet isolement génétique est incomplet; d'une part le pourcentage d'hybrides entre les formes Savane et Mopti, quoique faible, n'est pas négligeable, d'autre part le génotype standard sert probablement de "pont" entre les deux formes dans la mesure où il appartient effectivement à ces deux formes.

Le complexe An.gambiae, grâce à une remarquable "vitalité évolutive", constitue un modèle d'évolution qui propose, aux niveaux spécifiques et sub-spécifiques, différents degrés d'isolement génétique assimilables aux étapes successives d'un vaste processus de spéciation. On remarque cependant qu'An.arabiensis qui présente un haut degré de polymorphisme, de par l'évidence d'une panmixie, ne semble pas concerné par un tel processus. Ce modèle illustre la notion moderne d'espèce reposant uniquement sur la réalité d'un "pool" génétique commun. Ce modèle confirme qu'un isolement génétique peut s'instaurer indépendamment de différenciation morphologique.

Cette étude s'est déroulée dans deux situations contrastées, la savane et la rizière, qui ont chacune d'importantes implications épidémiologiques sur la transmission du paludisme. Dans ces contextes écologiquement distincts quoique géographiquement voisins, la cytogénétique a permis d'observer des différences majeures dans la composition qualitative et quantitative des populations de vecteurs. Ces différences peuvent contribuer à expliquer des comportements particuliers des vecteurs. Elles illustrent bien l'importante notion de faciès épidémiologique (Carnevale *et al.*, 1985) et s'insèrent dans le cadre plus général de l'évaluation de l'impact d'un vaste projet hydro-agricole sur l'épidémiologie du paludisme.

BIBLIOGRAPHIE

- BRYAN (J.H.), DI DECO (M.A.), PETRARCA (V.) & COLUZZI (M.), 1982. Inversion polymorphism and incipient speciation in Anopheles gambiae s.str. in The Gambia, West Africa. Genetica, 59: 167-176.
- CARNEVALE (P.), ROBERT (V.), MOLEZ (J.F.) & BAUDON (D.), 1985. - Les faciés épidémiologiques des paludismes en Afrique subsaharienne. Etudes médicales, 3: 123-133.
- CHAUVET (G.), DAVIDSON (G.) & DEJARDIN (J.), 1969. - Validité d'une méthode chétotaxique de distinction des larves d'espèces A et B du complexe Anopheles gambiae à Madagascar. Cah.ORSTOM, sér.Ent.méd.et Parasitol., 7, 1:51-60.
- COLUZZI (M.), 1964. - Morphological divergences in the Anopheles gambiae complex. Riv.Malariol., 43: 197-232
- COLUZZI (M.), 1966. - Osservazioni comparative sul cromosoma X nelle specie A e B del complesso Anopheles gambiae. Rend. Accad. Naz. Lincei, 40: 671-678.
- COLUZZI (M.), 1968. - Cromosomi politenici delle cellule nutrici ovariche nel complesso gambiae del genere Anopheles. Parassitologia, 9: 73-88.
- COLUZZI (M.) & PETRARCA (V.), 1973. - Aspirator with paper cup for collecting mosquitoes and other insects. Mosquito News, 33: 249-250.
- COLUZZI (M.) & SABATINI (A.), 1967. - Cytogenetic observations on species A and B of the Anopheles gambiae complex. Parassitologia, 9: 73-88.
- COLUZZI (M.) & SABATINI (A.), 1968. - Cytogenetic observations on species C of the Anopheles gambiae complex. Parassitologia, 10: 155-165.
- COLUZZI (M.) & SABATINI (A.), 1969. - Cytogenetic observations on the salt water species, Anopheles merus and Anopheles melas, of the gambiae complex. Parassitologia, 11: 177-187.
- COLUZZI (M.), PETRARCA (V.) & DI DECO (M.A.), 1985. - Chromosomal inversion intergradation and incipient speciation in Anopheles gambiae. Boll.Zool., 52: 45-63.
- COLUZZI (M.), SABATINI (A.), PETRARCA (V.) & DI DECO (M.A.), 1979. - Chromosomal differentiation and adaptation to human environments in the Anopheles gambiae complex. Trans.Roy.Soc.trop. Med.Hyg., 73: 483-497.
- COZ (J.), 1973a. - Contribution à l'étude du complexe A.gambiae. Répartition géographique et saisonnière en Afrique de l'Ouest. Cah.ORSTOM, sér.Ent.méd.et Parasitol., 11, 1: 3-31.
- COZ (J.), 1973b. - Contribution à la biologie du complexe Anopheles gambiae Giles en Afrique Occidentale. Cah.ORSTOM, sér.Ent.méd.et Parasitol., 11, 1: 33-40.
- DAVIDSON (G.), 1956. - Insecticide resistance in Anopheles gambiae Giles: a case of simple Mendelian inheritance. Nature, 178: 861-863.
- DAVIDSON (G.), 1962. - Anopheles gambiae complex. Nature, 196: 907.
- DAVIDSON (G.) & HUNT (R.), 1973. - The crossing and chromosome characteristics of a new sixth species in the Anopheles gambiae complex. Parassitologia, 15: 121-128.
- DAVIDSON (G.) & JACKSON (C.E.), 1962. - Incipient speciation in Anopheles gambiae Giles. Bull.Org.mond.Santé, 27: 303-305.

DE MEILLON (B.), 1956. - Aspects of malaria vector research in Africa. Bull.Wld Hlth Org., 15: 847-851.

FRIZZI (G.) & HOLSTEIN (M.), 1956. - Etude cytogénétique d'Anopheles gambiae. Bull.Wld Hlth Org., 15: 425-435.

HUNT (R.H.), 1973. - A cytological technique for the study of Anopheles gambiae complex. Parassitologia, 15: 137-139.

PETRARCA (V.), VERCRUYSSSE (J.) & COLUZZI (M.), 1987. - Observations on the member species of the Anopheles gambiae complex in the Senegal River Basin. Med.Veter.Entomol., 1: 303-312.

PETRARCA (V.), ROBERT (V.), CARNEVALE (P.) & COLUZZI (M.), 1986. Effetto di colture risicole recenti sulla distribuzione di taxa del complesso Anopheles gambiae (Diptera, Culicidae). Communication au 51ème Congrès Union Zoologique Italienne; 6-10 octobre, Rome, Italie.

RIBBANDS (C.R.), 1944. - Differences between Anopheles melas (A.gambiae var. melas) and Anopheles gambiae. The larval pecten. Ann.trop.Med.Parasitol., 38: 85-87.

ROBERT (V.), GAZIN (P.), BOUDIN (C.), MOLEZ (J.F.), OUEDRAOGO (V.) & CARNEVALE (P.), 1985. - La transmission du paludisme en zone de savane arborée et en zone rizicole des environs de Bobo Dioulasso (Burkina Faso). Ann.Soc.belge Med.trop., 65, suppl. 2: 201-214.

ROBERT (V.), PETRARCA (V.), CARNEVALE (P.) & COLUZZI (M.), 1986. Le particularisme de la transmission du paludisme dans la zone rizicole de la Vallée du Kou (Burkina Faso); l'apport de l'étude cytogénétique des vecteurs à l'épidémiologie. Communication au 14ème Congrès national de la Société Italienne de Parasitologie; 21-24 mai, Pise, Italie.

TOURÉ (Y.T.), PETRARCA (V.) & COLUZZI (M.), 1983. - Nuove entità del complesso Anopheles gambiae in Mali. Parassitologia, 25: 367-370.

TOURÉ (Y.T.), PETRARCA (V.) & COLUZZI (M.), 1986. - Esame comparativo dei tassi di infezione con sporozoit e filarie in diverse forme del complesso Anopheles gambiae in un villaggio del Mali. Ann.Ist.Super.Sanità, 22: 215-218.

WHITE (G.B.), 1971. - Chromosomal evidence for natural interspecific hybridization by mosquitoes of the Anopheles gambiae complex. Nature, 231, 5299: 184-185.

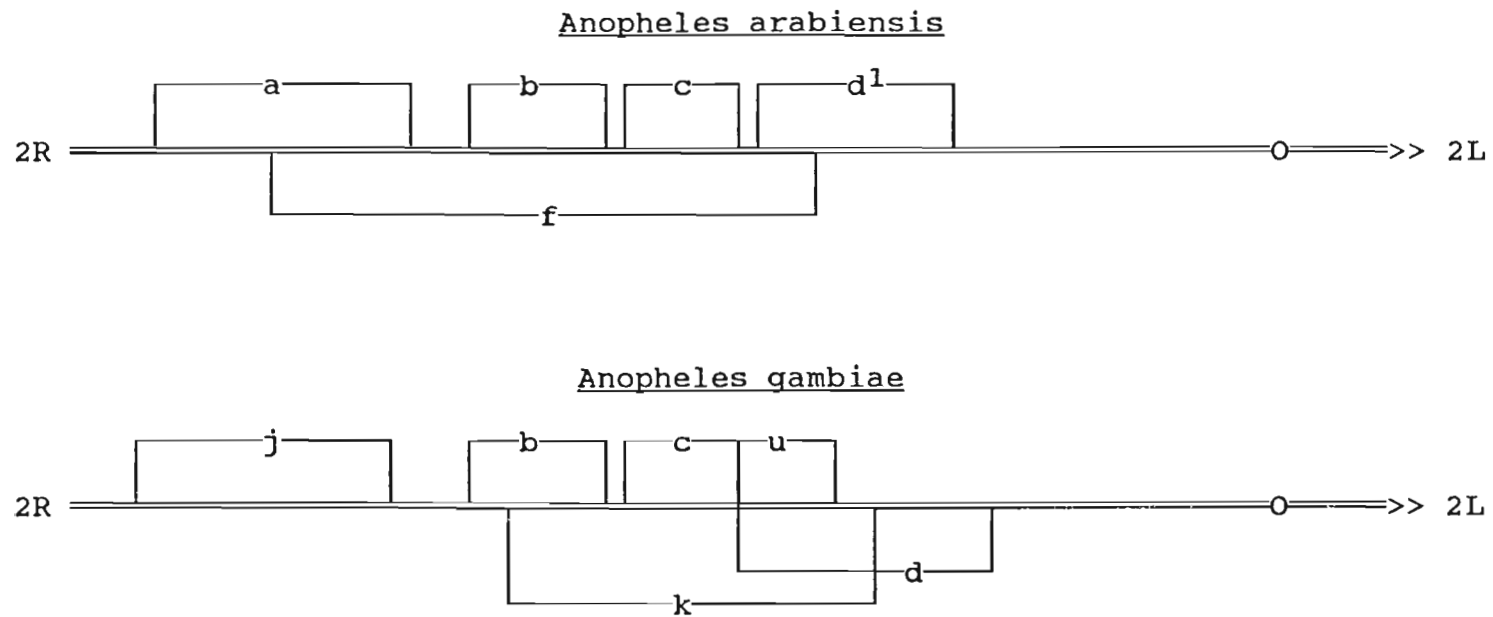
WHITE (G.B.), 1974. - Anopheles gambiae complex and disease transmission in Africa. Trans.Roy.Soc.trop.Med.Hyg., 68: 278-301.

WHITE (G.B.), 1985. - Anopheles bwambiae sp.n.; a malaria vector in the Semliki Valley, Uganda, and its relationships with other sibling species of the An.gambiae complex (Diptera, Culicidae). Systematic Entomology, 10: 501-522.

ZAHAR (A.R.), HILLS (M.) & DAVIDSON (G.), 1970. - An attempt to group fresh water species of the Anopheles gambiae complex by some morphological larval and adult characters. Parassitologia, 12: 31-46.

Figure 1: Schémas des inversions rencontrées sur le bras chromosomique 2R d'Anopheles arabiensis et An.gambiae dans la région de Bobo-Dioulasso (d'après COLUZZI et al., 1979).

Figure 1: Diagrammatic representation of the inversions observed on chromosomal arm 2R in Anopheles arabiensis and An.gambiae in Bobo-Dioulasso region (after Coluzzi et al., 1979).



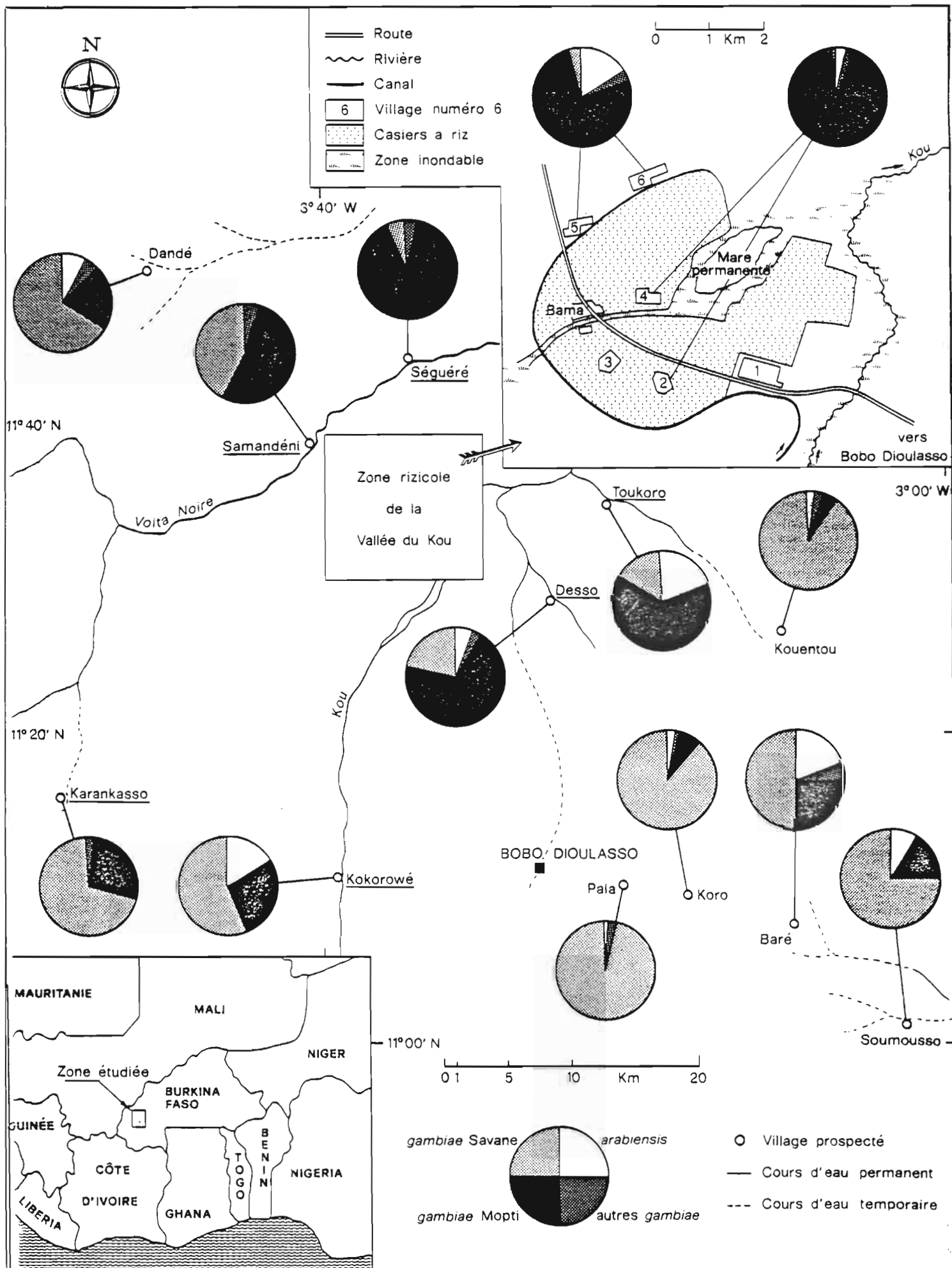


Tableau I: Appartenance spécifique des individus du complexe Anopheles gambiae, récoltés dans la rizière de la Vallée du Kou et dans la savane alentour, région de Bobo Dioulasso, de 1981 à 1984.

Table 1: Species identification of the members of the Anopheles gambiae complex collected in the Kou Valley rice-fields and in neighbouring savanna areas of the Bobo-Dioulasso region, 1981 to 1984.

Biotope	<u>An.gambiae</u>		<u>An.arabiensis</u>		Total
	N	%	N	%	
SAVANE	839	93,85	55	6,15	894
RIZIERE	1701	85,39	291	14,61	1992
TOTAL	2540	88,01	346	11,99	2886

Tableau II: Fréquence des arrangements chromosomiques par système d'inversion des Anopheles arabiensis récoltés en savane et en rizière de 1981 à 1983.

Table 2: Frequency of chromosomal arrangements for each inversion systems in Anopheles arabiensis collected in savanna areas and rice-fields, 1981 to 1983.

Systèmes d'inversion et arrangements												
BIOTOPE		2 R <u>a</u>		2 R <u>b</u>				2 R <u>d</u> ¹		3 R <u>a</u>		Nombre total de chromosomes
		+ <u>a</u>	<u>a</u>	+ <u>b</u>	<u>b</u>	<u>bc</u>	<u>bf</u>	+ <u>d</u> ¹	<u>d</u> ¹	+ <u>a</u>	<u>a</u>	
SAVANE	N	59*	15	2	57	14	1	74*	0	24	50	74
	%	79,73	20,27	2,70	77,03	18,92	1,35	100,00	0,00	32,43	67,57	
RIZIERE	N	467**	77	6	404	129	5	527**	17	296	248	544
	%	85,85	14,15	1,10	74,26	23,71	0,92	96,88	3,13	54,41	45,59	
TOTAL	N	526	92	8	461	143	6	601	17	320	298	618
	%	85,11	14,89	1,29	74,60	23,14	0,97	97,25	2,75	51,78	48,22	
* dont 1 2Rbf ** dont 5 2Rbf												

Tableau III: Analyses génétiques pour trois systèmes d'inversion des *Anopheles arabiensis* échantillonnés les 24 et 25 septembre 1981 au village VK6. Les effectifs calculés sont obtenus selon l'équilibre de Hardy-Weinberg.

Table 3: Analysis of three inversion systems of *Anopheles arabiensis* collected in the village VK6 on September 24th and 25th, 1981. The expected values ("calculés") are obtained applying the Hardy-Weinberg law.

Systèmes d'inversion	Caryotypes	Observés (O)	Calculés (C)	$\frac{(O-C)^2}{C}$	probabilité
2Ra	+a/+a	126	125,90	$7,94 \cdot 10^{-5}$	
	+a/a	38	38,20	$1,05 \cdot 10^{-3}$	
	a/a	3	2,90	$3,45 \cdot 10^{-3}$	
	Total	167	167,00	$\chi^2_1 = 0,004$	
2Rb	+b/+b	0	0,04	0,040	
	+b/b	3	3,74	0,146	
	+b/bc	2	1,15	0,628	
	+b/bf	0	0,03	0,030	
	b/b	93	93,56	0,003	
	b/bc	60	57,63	0,097	
	b/bf	1	1,50	0,167	
	bc/bc	7	8,88	0,398	
	bc/bf	1	0,46	0,634	
	bf/bf	0	0,01	0,010	
	Total	167	166,99	$\chi^2_3 = 0,85*$	0,84
3Ra	+a/+a	55	54,04	0,017	
	+a/a	80	81,92	0,045	
	a/a	32	31,04	0,030	
	Total	167	167,00	$\chi^2_1 = 0,09$	0,76

* χ^2 corrigé

Tableau IV: Les arrangements chromosomiques observés chez Anopheles gambiae en savane et en rizière.

Table 4: Chromosomal arrangements of arms 2R and 2L in Anopheles gambiae in the Kou Valley rice-fields and in neighbouring savanna areas.

BIOTOPE		Systèmes d'inversion et arrangements											Nombre total de chromosomes
		2 R <u>j</u>		2 R <u>b</u>				2 R <u>d</u>			2 L <u>a</u>		
		<u>+j</u>	<u>j</u>	<u>+b</u>	<u>b</u>	<u>bc</u>	<u>bk</u>	<u>+d</u>	<u>d</u>	<u>u</u>	<u>+a</u>	<u>a</u>	
SAVANE	N	1664	14	559	804	309	6	1377*	56	245	87	1591	1678
	%	99,17	0,83	33,31	47,91	18,41	0,36	82,06	3,34	14,60	5,18	94,82	
RIZIERE	N	3402	0	1692	98	1612	0	2000	41	1361	2	3400	3402
	%	100,00	0,00	49,74	2,88	47,38	0,00	58,79	1,21	40,01	0,06	99,94	
TOTAL	N	5066	14	2251	902	1921	6	3377*	97	1606	89	4991	5080
	%	99,72	0,28	44,31	17,76	37,81	0,12	66,48	1,91	31,61	1,75	98,25	

* dont 6 2R**b**k.

Tableau V: Analyses génétiques pour deux systèmes d'inversion de deux échantillons d'*Anopheles gambiae*. L'échantillon de savane a été récolté le 28 août 1984 au village de DANDE; l'échantillon de rizière a été récolté dans le village VK6 les 6 et 13 août 1984 dans des chambres à coucher. Les effectifs calculés sont obtenus selon l'équilibre de Hardy-Weinberg.

Table 5: Analysis of two inversion systems for two samples of *Anopheles gambiae*. The savanna sample was collected in the village Dandé on August 28th, 1984. The sample from rice-fields was collected in bedrooms from the village VK6 (August 6th and 13th, 1984). The expected values ("calculés") are obtained from the Hardy-Weinberg equilibrium.

BIOTOPE		Systèmes d'inversion et caryotypes												Total
		2 R <u>b</u>						2 R <u>d</u>						
		$\frac{+}{+}/\frac{+}{+}$	$\frac{+}{+}/\frac{b}{b}$	$\frac{+}{+}/\frac{b}{bc}$	$\frac{b}{b}/\frac{b}{b}$	$\frac{b}{b}/\frac{b}{bc}$	$\frac{bc}{bc}/\frac{bc}{bc}$	$\frac{+}{+}/\frac{+}{+}$	$\frac{+}{+}/\frac{d}{u}$	$\frac{+}{+}/\frac{d}{d}$	$\frac{u}{u}/\frac{u}{u}$	$\frac{d}{u}/\frac{d}{u}$	$\frac{d}{d}/\frac{d}{d}$	
SAVANE	observé (O)	4	19	9	26	9	7	61	1	9	3	0	0	74
	calculé ₂ (C)	4,38	19,46	7,78	21,62	17,30	3,46	58,86	6,24	8,03	0,17	0,43	0,27	
	$\frac{(O-C)^2}{C}$	0,03	0,01	0,19	0,89	3,98	3,62	0,08	4,40	0,12	47,11	0,43	0,27	
		$\chi^2_2=8,73$ P=0,01						$\chi^2_2=9,81*$ P=0,007						
RIZIERE	observé (O)	14	1	49	0	2	45	50	53	2	6	0	0	111
	calculé ₂ (C)	13,70	1,05	49,54	0,02	1,91	44,78	54,11	45,38	1,40	9,52	0,59	0,00	
	$\frac{(O-C)^2}{C}$	0,01	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,31	1,28	0,26	1,30	0,59	0,00	
		$\chi^2_2=0,01*$ P=0,99						$\chi^2_2=2,89*$ P=0,24						

* χ^2 corrigé

Tableau VIa: Fréquence (%) des caryotypes d'inversion du bras 2R in toto d'Anopheles gambiae de la région de Bobo-Dioulasso, récoltés en savane (N=824). Les 15 caryotypes présentant les arrangements 2R_j ou 2R_k ont été négligés. Voir dans le texte les détails concernant la classification des caryotypes.

Table 6a: Frequency of whole arm inversion karyotypes of Anopheles gambiae collected in savanna areas of the Bobo-Dioulasso region (N=824). The 15 specimens carriers of 2R_j and/or 2R_k are not included. See the text for details on assignment of the karyotypes.

2R	bu	bd	bcd	d	b	+	u	bc
bc	0,24	0,97	0,00	0,85	1,58	4,25	11,89	7,16
u	0,00	0,00	0,00	0,24	0,12	4,13	6,55	
+	0,00	0,00	0,49	0,73	21,00	2,55		MOPTI
b	0,00	0,49	2,67	0,12	33,98		SAVANE	

Tableau VIb: Fréquence (%) des caryotypes d'inversion du bras 2R in toto d'Anopheles gambiae de la région de Bobo-Dioulasso, récoltés en rizière (N=1701). Voir dans le texte les détails concernant la classification des caryotypes.

Table 6b: Frequency of whole arm inversion karyotypes of Anopheles gambiae collected in rice-fields of the Bobo-Dioulasso region (N=1701). See the text for details on assignment of the karyotypes.

2R	bu	bd	bcd	d	b'	+	u	bc
bc	0,65	0,29	0,06	0,69	0,41	6,58	36,51	24,63
u	0,35	0,12	0,24	0,29	0,47	8,94	16,05	
+	0,00	0,00	0,12	0,59	1,00	0,82		MOPTI
b	0,00	0,00	0,00	0,12	1,18		SAVANE	

Tableau VII: Analyse génétique des principaux groupes de caryotypes d'inversion rencontrés sur 2R chez Anopheles gambiae récoltés en savane et en rizière. Les effectifs calculés sont obtenus selon l'équilibre d'Hardy-Weinberg.

Table 7: Analysis of the main 2R inversion karyotypes of Anopheles gambiae collected in savanna and rice-fields. The expected values are obtained applying the Hardy-Weinberg law.

CARYOTYPES	BIOTOPE SAVANE			BIOTOPE RIZIERE		
	observés (O)	calculés (C)	$\frac{(O-C)^2}{C}$	observés (O)	calculés (C)	$\frac{(O-C)^2}{C}$
<u>TOUS CARYOTYPES</u>						
<u>bc/bc</u>	59	22,69	58,11	419	378,89	4,25
<u>bc/u</u>	98	41,42	77,29	621	637,25	0,41
<u>bc/+</u>	35	48,81	3,91	112	148,39	8,92
<u>bc/b</u>	13	128,39	103,71	7	34,58	22,00
<u>u/u</u>	54	18,91	65,11	273	267,94	0,10
<u>u/+</u>	34	44,56	2,50	152	124,78	5,94
<u>u/b</u>	1	117,21	115,22	8	29,08	15,28
<u>+/+</u>	21	26,26	1,05	14	14,53	0,02
<u>+/b</u>	173	138,12	8,81	17	6,77	15,46
<u>b/b</u>	280	181,64	53,26	20	0,79	467,12
Total	768	768,01		1643	1643,00	
	$\chi^2_3=488,97 \quad P<<0,0001$			$\chi^2_3=539,49 \quad P<<0,0001$		
<u>CARYOTYPES MOPTI</u>						
<u>bc/bc</u>	59	55,28	0,25	419	405,31	0,46
<u>bc/u</u>	98	105,44	0,52	621	648,38	1,16
<u>u/u</u>	54	50,28	0,28	273	259,31	0,72
Total	211	211,00		1313	1313,00	
	$\chi^2_1=1,05 \quad P=0,31$			$\chi^2_1=2,34 \quad P=0,13$		
<u>CARYOTYPES SAVANE</u>						
<u>+/+</u>	21	24,38	0,47	14	9,93	1,67
<u>+/b</u>	173	166,24	0,27	17	25,15	2,64
<u>b/b</u>	280	283,38	0,04	20	15,93	1,04
Total	474	474,00		51	51,01	
	$\chi^2_1=0,78 \quad P=0,38$			$\chi^2_1=5,35 \quad P=0,02$		

Tableau VIII: Nombres et pourcentages des taxons du complexe Anopheles gambiae récoltés en savane et en rizière dans la région de Bobo-Dioulasso.

Table 8: Numbers and percentages of the taxa of the Anopheles gambiae complex collected in savanna areas and rice-fields of the Bobo-Dioulasso region.

Zones écologiques		Villages	Anopheles gambiae								Total général	
			Forme Savane		Forme Mopti		Hybrides, recombinants, non classés		Total	Anopheles arabiensis		
			N	%	N	%	N	%		N		%
Z O N E D E	villages avec rivières temporaires	Baré	14	58,33	7	29,17	3	12,50	24	4	14,29	28
		Dandé	68	68,00	24	24,00	8	8,00	100	9	8,26	109
		Koro	133	89,26	11	7,38	5	3,36	149	3	1,97	152
		Kouentou	38	86,36	2	4,55	4	9,09	44	1	2,22	45
		Pala	70	97,22	0	0,00	2	2,78	72	1	1,37	73
		Soumoussou	79	80,61	16	16,33	3	3,06	98	10	9,26	108
		autres	1	25,00	0	0,00	3	75,00	4	1	20,00	5
Total		403	82,08	60	12,22	28	5,70	491	29	5,58	520	
S A V A N E	villages avec rivières permanentes ou sub- permanentes	Desso	31	22,96	101	74,81	3	2,22	135	8	5,59	143
		Karankasso	42	67,74	17	27,42	3	4,84	62	0	0,00	62
		Kokorowé	24	66,67	12	33,33	0	0,00	36	7	16,28	43
		Séguéré	3	5,56	49	90,74	2	3,70	54	0	0,00	54
		Samandeni	8	42,11	10	52,63	1	5,26	19	0	0,00	19
		Toukouro	8	19,05	34	80,95	0	0,00	42	11	20,75	53
		Total	116	33,33	223	64,08	9	2,59	348	26	6,95	374
Total général		519	61,86	283	33,73	37	4,41	839	55	6,15	894	
Z O N E D E	R I Z I È R E	Villages centraux	3	1,26	231	97,06	4	1,68	238	9	3,64	247
		Villages périphériques	48	3,28	1360	92,96	55	3,76	1463	282	16,16	1745
		Total	51	3,00	1591	93,53	59	3,47	1701	291	14,61	1992

Tableau IX: Fréquences caryotypiques et chromosomiques de la forme Mopti d'Anopheles gambiae dans des chambres et dans des abris (poulailler abandonné) du village VK6.

Table 9: Karyotypic and chromosomal frequencies of Mopti form of Anopheles gambiae collected in bedrooms and in empty poultry-yards in the village VK6.

BIOTOPE		c a r y o t y p e s						total	chromosomes			χ^2_2 (HW) P
		<u>bc/bc</u>	<u>bc/u</u>	<u>bc/+</u>	<u>u/u</u>	<u>u/+</u>	<u>+/+</u>		<u>bc</u>	<u>u</u>	<u>+</u>	
CHAMBRES	N	23	70	12	49	21	4	179	128	189	41	1,77
	%	12,85	39,11	6,70	27,37	11,73	2,23		35,75	52,79	11,45	0,41
POULAILLER	N	0	11	5	15	2	0	33	16	43	7	1,78 *
	%	0,00	33,33	15,15	45,45	6,06	0,00		24,24	65,15	10,61	0,62
Test exact de Fisher (bc/bc<->autres), P=0,02									$\chi^2_2=3,77$, P=0,15			

* χ^2 corrigé

Le paludisme urbain à Bobo-Dioulasso (Burkina Faso); 4. Etude chromosomique du complexe *Anopheles gambiae* (1)

Vincent ROBERT (2)

Vincenzo PETRARCA (3)

Pierre CARNEVALE (2)

Mario COLUZZI (3)

(1) Cette recherche a bénéficié d'une aide financière du Programme spécial de recherche et de formation pour les maladies tropicales PNUD / Banque Mondiale / OMS et de la Commission des communautés européennes.

(2) Antenne ORSTOM du Centre Muraz, B.P.171, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. Adresse actuelle où sont à demander les tirés-à-part: OCEAC, B.P.288, Yaoundé, Cameroun.

(3) Istituto di Parassitologia, Università di Roma "La Sapienza", Piazzale A. Moro 5, 00185 Roma, Italia.

Résumé

Dans la zone urbaine de Bobo-Dioulasso deux espèces du complexe *Anopheles gambiae* sont rencontrées: *A. arabiensis* et *A. gambiae*.

A. arabiensis est minoritaire et représente 11% du complexe. Sa fréquence relative est plus élevée dans le centre-ville (21% du complexe) que dans un quartier périphérique (3%).

A. gambiae est majoritaire dans la ville. Il regroupe deux formes chromosomiques: Savane et Mopti. *A. gambiae* Savane, est la forme la mieux représentée aussi bien dans le centre-ville, où elle représente 71% de l'espèce, que dans un quartier périphérique où elle en représente 78%; cette fréquence élevée est probablement liée à la nature temporaire des gîtes larvaires disponibles dont on sait qu'elle favorise cette forme chromosomique. *A. gambiae* Mopti est observée dans le centre-ville (23%) et dans la périphérie (17%). Seuls 4% des individus de cette espèce n'appartiennent pas à l'une de ces deux formes.

Mots-Clés: *Anopheles gambiae*, *Anopheles arabiensis*, paludisme, ville, Afrique.

Urban malaria in Bobo-Dioulasso (Burkina Faso);
4. Chromosomal study of *Anopheles gambiae* complexe

Summary

Two species belonging to the *Anopheles gambiae* complex are found in the urban zone of Bobo-Dioulasso, namely *A. arabiensis* and *A. gambiae*.

A. arabiensis is not prevalent and represents 11% of the complex. Its relative frequency is higher in downtown (21% of the complex) than in the outlying districts (3%).

A. gambiae is prevalent in the town. It includes two chromosomal forms namely Savanna and Mopti. The Savanna form is the most commonly observed from both in downtown where it represents 71% of the species and in the outlying districts where it represents 78% of it. This high frequency is probably linked to the temporary available breeding places which are known to contribute to this chromosomal form. The Mopti form is observed in downtown (23%) and in the outlying districts (17%). Only 4% of the mosquitoes of this species do not belong to one of these two forms.

Key Words: *Anopheles gambiae*, *A. arabiensis*, malaria, town, Africa.

1. Introduction

Différentes études de la transmission du paludisme ont été effectuées dans des villes d'Afrique inter-tropicale: dans la banlieue de Dakar (Vercruysse & Jancloes, 1981), à Bobo-Dioulasso (Robert *et al.*, 1986), à Ouagadougou (Rossi *et al.*, 1986; Sabatinelli *et al.*, 1986) et à Brazzaville (Trape & Zoulani, 1987). Ces études ont souligné le rôle de vecteur principal, voire unique, d'espèces du complexe *Anopheles gambiae*. Vu l'importance du phénomène urbain en Afrique des recherches spécifiques sur la bio-écologie de ce complexe en milieu urbain sont nécessaires. Dans cette optique la détermination spécifique des membres de ce complexe mis en cause devient prioritaire. La présente étude expose des résultats obtenus par la cytotaxonomie sur des spécimens du complexe récoltés dans deux quartiers de la ville de Bobo-Dioulasso; elle s'inscrit dans une étude plus globale de l'épidémiologie du paludisme dans cette ville.

2. Matériel et méthodes

Les deux quartiers qui ont fourni les échantillons de moustiques sont d'une part Dioulassoba, quartier central, ancien, traversé par un cours d'eau semi-permanent et d'autre part Colma-Nord, quartier périphérique à la limite nord de la ville, récent, en cours de construction, éloigné de toute eau stagnante, avec une densité de population humaine moindre que celle du quartier précédant. Une description plus complète de la ville et de ces deux quartiers a déjà été proposée (Robert *et al.*, 1986).

La détermination spécifique des membres du complexe a été effectuée sur les chromosomes polyténiques des cellules trophocytaires de l'ovocyte des femelles semi-gravides. La technique de préparation cytologique était celle de Hunt (1973), la lecture des inversions chromosomique était celle de Coluzzi *et al.* (1979) et la nomenclature non-linéenne des taxons de l'espèce *A.gambiae* était celle de Coluzzi *et al.* (1985).

La collecte des anophèles a été effectuée de deux manières différentes. En 1985 dans le quartier Dioulassoba des stades larvaires ont été collectés dans un seul gîte en bordure de la rivière puis mis en élevage en insectarium pour obtenir des femelles semi-gravides. En 1986 des femelles semi-gravides endophiles ont été collectées par la technique du pyrhètre dans le quartier Dioulassoba entre le 27 septembre et le 17 octobre et le quartier Colma-Nord entre les 11 et 24 septembre.

3. Résultats

Un total de 203 individus du complexe *A. gambiae* ont présenté une préparation chromosomique exploitable.

Les récoltes larvaires à Dioulassoba

Plus de 2000 larves récoltées ont permis l'obtention relativement aisée de femelle. Par contre il a été difficile de gorger ces dernières qui n'ont manifesté aucune appétence pour les lapins habituellement utilisés. Un homme a alors été proposé pour le repas de

sang. Malgré une prise de sang et une digestion apparemment normales la production d'une ponte a été exceptionnelle, même après plusieurs repas de sang. Des essais d'élevage à différents taux d'humidité relative ont vainement été tentés. Finalement un important pourcentage de femelles semi-gravidas a présenté des chromosomes illisibles. Au total seulement 10 individus ont procuré des préparations chromosomiques exploitables. Les observations réalisées sur ces chromosomes ont été reprises ci-dessous dans les résultats du quartier Dioulassoba. Notons cependant qu'un *A. arabiensis*, qu'un *A. gambiae* Mopti et que huit *A. gambiae* Savane ont été identifiés en provenance d'un unique gîte larvaire.

Les récoltes de femelles adultes à Dioulassoba et à Colma-Nord

La faible densité anophélienne dans la ville de Bobo-Dioulasso a nécessité un grand nombre de capture au pyrèthre pour obtenir un échantillon numériquement modeste du complexe. 97 femelles à Dioulassoba et 106 à Colma-Nord ont fourni une préparation exploitable. A Dioulassoba on recense 20 *A. arabiensis*, 18 *A. gambiae* Mopti, 56 *A. gambiae* Savane et 3 *A. gambiae* n'appartenant pas à l'une de ces deux formes chromosomiques. A Colma-Nord on recense 3 *A. arabiensis*, 19 *A. gambiae* Mopti, 79 *A. gambiae* Savane et 5 *A. gambiae* n'appartenant pas à l'une de ces deux formes chromosomiques.

Les taxons du complexe *A. gambiae*

A. arabiensis représente 21% des effectifs du complexe à Dioulassoba et 3% à Colma-Nord.

Parmi *A. gambiae*, la forme Mopti, caractérisée par les arrangements 2Rbc et 2Ru, présente une proportion similaire dans les deux quartiers: 23% à Dioulassoba et 18% à Colma-Nord. *A. gambiae* Savane, caractérisée par l'arrangement 2Rb et dans une moindre mesure par 2Rbcd, est majoritaire dans les deux quartiers où il représente 73% des effectifs à Dioulassoba et 77% à Colma-Nord. L'avantage numérique de cette forme chromosomique est à mettre en relation avec le caractère temporaire des principaux gîtes larvaires dont on sait par ailleurs qu'il favorise ce taxon (Coluzzi *et al.*, 1985). Le sol sableux du quartier Colma-Nord en particulier est perméable et ne permet pas le maintien durable d'eau stagnante à sa surface. Toutefois lors du maximum de précipitation de la saison pluvieuse de l'eau peut persister quelques semaines dans les nombreux trous creusés par l'homme dans le sol pour extraire de la terre destinée à la fabrication de briques en pisé; ces gîtes préimaginaux sont ainsi productifs en imagos du complexe *A. gambiae* pendant une brève période avant de s'assécher.

Dans les deux quartiers les *A. gambiae* n'appartenant pas à l'une de ces deux formes chromosomiques représentent 4% à 5% de l'espèce et sont soit des hybrides ou des recombinants entre les deux formes chromosomiques Mopti et Savane, soit des non-classés car ils sont porteurs d'inversions chromosomiques rares (tabl.1).

Le polymorphisme chromosomique d'*A. arabiensis*

L'échantillon montre un haut degré de polymorphisme chromosomique. Sur le chromosome 2, les systèmes d'inversions 2R*a* et 2R*b* sont caractérisés respectivement par les arrangements alternatifs +*a*, *a*, *bf* et *b*, *bc*, *bf*. On a recensé aussi les arrangements 2R*d*¹ et 2L*b* à l'état hétérozygote, chacun dans un seul individu. Les arrangements les plus fréquents sont 2R+*a* et 2R*b*. Sur le chromosome 3, le polymorphisme 3R*a*/+ présente une fréquence moyenne de l'arrangement inversé supérieure à 60% (tabl.2).

Le polymorphisme chromosomique d'*A. gambiae*

Le polymorphisme chromosomique d'*A. gambiae* est examiné en considérant séparément les deux formes Mopti et Savane. Les huit individus avec des caryotypes qui ne peuvent pas être assignés à une de ces deux formes n'ont pas été comptabilisés (tabl.3).

La forme Mopti est caractérisée par le polymorphisme 2R*bc/u* /+ avec une fréquence élevée de l'arrangement *bc*. Dans cette forme l'arrangement 2L*a* est apparemment fixé. Il n'existe pas de variations significatives entre les échantillons des deux quartiers.

La forme Savane est caractérisée par le polymorphisme 2R*b/bcd*/+ avec une fréquence élevée de l'arrangement *b*. D'autres arrangements très rares 2R*jb*, 2R*jbk* et 2R*cu* ont aussi été observés, chacun à un exemplaire. Des variations ont été observées entre les échantillons des deux quartiers: c'est le cas pour le système d'inversion 2L*a* caractérisé par les arrangements *a*/+ avec dominance de l'arrangement inversé qui est toutefois loin d'être fixé comme dans la forme Mopti.

4. Discussion

Les trois taxons du complexe, *A. arabiensis*, *A. gambiae* Mopti et *A. gambiae* Savane, déjà rencontrés dans les villages de savane de la région de Bobo-Dioulasso (Robert *et al.*, 1989), sont aussi présents dans le centre-ville et les quartiers périphériques. La fréquence relative d'*A. arabiensis* dans le centre-ville (21%) est particulièrement élevée; elle constitue même un record pour la région de Bobo-Dioulasso. Ceci ne peut être mis sur le compte de la présence de gros bétail, complètement absent de ce quartier; c'est plutôt le phénomène urbain lui-même qui favorise cette espèce, comme l'ont déjà observé Coluzzi *et al.* (1979) dans la ville de Benin City dans le sud du Nigeria et Petrarca *et al.* (1986) dans la ville de Ouagadougou au Burkina Faso. Il est aussi possible que l'endophilie d'*A. arabiensis* augmente en zone urbaine du fait de la réduction des gîtes de repos diurne à l'extérieur des maisons.

Il n'existe pas de variations importantes dans les fréquences des différents arrangements chromosomiques d'*A. arabiensis* et d'*A. gambiae* entre la ville de Bobo-

Dioulasso et les villages de savane de la région (Robert *et al.*, 1989). Toutefois les arrangements 2Rc et 2Lb qui n'avaient pas encore été trouvés dans les villages, ont été rencontrés pour la première fois en ville respectivement chez *A. gambiae* et *A. arabiensis*.

Dans le quartier périphérique Colma-Nord la fréquence de l'arrangement 2L+^a parmi la forme Savane d'*A. gambiae* est de 4% (7/158, tabl.3) et est inférieure à la fréquence moyenne de cet arrangement dans les localités prospectées dans la région rurale de Bobo-Dioulasso où elle est de 8% (85/1030; Robert *et al.*, 1989). Par contre dans le quartier central Dioulassoba cette fréquence est de 12% et elle constitue, comme dans le village de Pala où la forme Savane est la seule forme rencontrée, la valeur la plus élevée observée dans la région. La différence significative de cette fréquence entre le centre et la périphérie de la ville reflète probablement la profonde modification due à l'urbanisation.

Dans la ville de Bobo-Dioulasso par la nature temporaire des gîtes préimaginaux c'est la forme chromosomique Savane qui est avantagée parmi l'espèce *A. gambiae*. Dans la ville de Ouagadougou par l'existence d'un grand barrage et des gîtes permanents c'est la forme Mopti qui est avantagée; toutefois dans le quartier central de cette même ville, où les gîtes sont essentiellement temporaires et dépendants des pluies, la forme Savane domine (Petrarca *et al.*, 1986). Ainsi, en zone urbaine comme en zone rurale c'est les caractéristiques des gîtes préimaginaux qui favorisent telle ou telle forme chromosomique.

Remerciements: Les auteurs remercient Albert Zoulani pour son dévouement lors des captures des anophèles et Gianni Petrangeli pour l'excellence de son travail de lecture des chromosomes.

BIBLIOGRAPHIE

COLUZZI (M.), SABATINI (A.), PETRARCA (V.) & DI DECO (M.A.), 1979.- Chromosomal differentiation and adaptation to human environment in the *Anopheles gambiae* complex. *Trans. R. Soc. trop. Med. Hyg.*, 73: 483-497.

COLUZZI (M.), PETRARCA (V.) & DI DECO (M.A.), 1985.- Chromosomal inversion intergradation and incipient speciation in *Anopheles gambiae*. *Boll. Zool.*, 52: 45-63.

HUNT (R.H.), 1973.- A cytological technique for the study of *Anopheles gambiae* complex. *Parassitologia*, 15: 137-139.

PETRARCA (V.), PETRANGELI (G.), ROSSI (P.) & SABATINELLI (G.), 1986.- Etude chromosomique d'*Anopheles gambiae* et d'*A. arabiensis* à Ouagadougou (Burkina Faso) et dans quelques villages voisins. *Parassitologia*, 28: 41-61.

ROBERT (V.), GAZIN (P.), OUEDRAOGO (V.) & CARNEVALE (P.), 1986.- Le paludisme urbain à Bobo-Dioulasso (Burkina Faso); 1. Etude entomologique de la transmission. *Cah. ORSTOM Sér. Ent. méd. Parasitol.*, 24: 121-128.

ROBERT (V.), PETRARCA (V.), OVAZZA (L.), CARNEVALE (P.) & COLUZZI (M.), 1989.- Analyse cytogénétique du complexe *Anopheles gambiae* dans la région de Bobo-Dioulasso (Burkina Faso). *Ann. Parasito. hum. comp.* A paraître.

ROSSI (P.), BELLI (A.), MANCINI (L.) & SABATINELLI (G.), 1986.- Enquête entomologique longitudinale sur la transmission du paludisme à Ouagadougou (Burkina Faso). *Parassitologia*, 28: 1-15.

SABATINELLI (G.), BOSMAN (A.), LAMIZANA (L.) & ROSSI (P.), 1986.- Prévalence du paludisme à Ouagadougou (Burkina Faso) et dans le milieu rural limitrophe en période de transmission maximale. *Parassitologia*, 28: 17-31.

TRAPE (J.F.) & ZOULANI (A.), 1987.- Malaria and urbanisation in Central Africa: the example of Brazzaville. 2. Results of entomological surveys and epidemiological analysis. *Trans. R. Soc. trop. Med. Hyg.*, 81, Suppl. 2: 10-18.

VERCRUYSSSE (J.) & JANCLOES (M.), 1981.- Etude entomologique sur la transmission du paludisme dans la zone urbaine de Pikine, Sénégal. *Cah. ORSTOM Sér. Ent. méd. Parasitol.*, 19: 165-178.

Tableau 1. Les taxons du complexe *Anopheles gambiae* dans la ville de Bobo-Dioulasso (Burkina Faso).

Table 1. Taxa of the *Anopheles gambiae* complex in Bobo-Dioulasso (Burkina Faso).

QUARTIER		A. arabiensis	A. gambiae				TOTAL GENERAL
			Mopti	Savane	autres	Total	
Dioulassoba	n	20	18	56	3	77	97
	%	20,62	23,38	72,73	3,90	79,38	
Colma-Nord	n	3	19	79	5	103	106
	%	2,83	18,45	76,70	4,85	97,17	
TOTAL	n	23	37	135	8	180	203
	%	11,33	20,56	75	4,44	88,67	

Tableau 2. Les arrangements chromosomiques des systèmes d'inversions 2Ra, 2Rb et 3Ra d'*Anopheles arabiensis* dans la ville de Bobo-Dioulasso (Burkina Faso).

Table 2. Chromosomal arrangements of the inversion systems 2Ra, 2Rb and 3Ra of *Anopheles arabiensis* in Bobo-Dioulasso (Burkina Faso).

QUARTIER		2Ra			2Rb				3Ra		TOTAL
		+a	a	bf	+b	b	bc	bf	+a	a	
Dioulassoba	n	32	6	2	0	32	6	2	18	22	40
	%	80,0	15,0	5,0	0,0	80,0	15,0	5,0	45,0	55,0	
Colma-Nord	n	6	0	0	0	4	1	1	0	6	6
	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
TOTAL	n	38	6	2	0	36	7	3	18	28	46
	%	82,6	13,0	4,4	0,0	78,3	15,2	6,5	39,1	60,9	

Tableau 3. Les arrangements chromosomiques des formes chromosomiques Mopti et Savane d'*Anopheles gambiae* dans la ville de Bobo-Dioulasso (Burkina Faso). Les huit moustiques à caryotypes inclassables dans une de ces deux formes n'ont pas été comptabilisés.

Table 3. *Anopheles gambiae* chromosomal arrangements of Mopti and Savana forms in Bobo-Dioulasso (Burkina Faso). The eight caryotypes carrying mosquitoes unattributable in one of these two forms have not been counted.

QUARTIER		Mopti					Savane						TOTAL GENERAL
		2R			2L	Total	2R				2L	Total	
		bc	u	+			a	b	+	bcd				autres	a
Dioulassoba	n	17	15	4	36	36	81	26	2	3 *	99	112	148
	%	47,2	41,7	11,1	100,0		72,3	23,2	1,8	2,7	88,4		
Colma-Nord	n	16	14	8	38	38	125	25	7	1 **	151	158	196
	%	42,1	36,8	21,1	100,0		79,1	15,8	4,4	0,6	95,6		
TOTAL	n	33	29	12	74	74	206	51	9	4	250	270	344
	%	44,6	39,2	16,2	100,0		76,3	18,9	3,3	1,5	92,6		

*: 1 cu, 1 jb, 1 jbk

**: 1 jb

¹ Entomologistes médicaux, Antenne ORSTOM du Centre Muraz, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

² Technicien entomologiste ORSTOM, même adresse

³ Infirmier spécialiste OCCGE, même adresse

⁴ Adresse actuelle: OCEAC, B.P. 288, Yaoundé, Cameroun

Etude écologique des *Culicidae* adultes et larvaires dans une rizière en Vallée du Kou, Burkina Faso

V. ROBERT¹, B. OUARI², V. OUEDRAOGO³, P. CARNEVALE^{1, 4}

Summary

Title: Ecological study of adult and larval *Culicidae* in a rice field of the Kou Valley, Burkina Faso

An entomological survey based on collections of human bait mosquitoes and of mosquito larvae was carried out through one year in a rice-field, the Kou Valley of southwest Burkina Faso. Each year, in this irrigated rice field there are two crops of rice, one during the dry season and another during the wet one. Between the two rice cycles irrigation is interrupted and the rice field becomes dry. The rice crop cycle moves through several stages, all of which have positive or negative effects on the development of the larvae of most abundant mosquitoes species. Rice cultivation does not explain however entirely the ecology of mosquito populations. Two main limiting factors for mosquito development are highlighted: the season with two periods (1. dry, 2. wet) and the rice cultivation with three periods (1. start of the flooding, growing rice transplantation and tillering, 2. rice heading and flowering, 3. rice maturation and harvest).

The development of a majority of mosquito species depends strictly on rice growth: (i) *Anopheles gambiae* s.l. uses the whole rice field during the first period of rice cultivation until growing rice protects the larval breeding places from solar radiation. It is the most frequent mosquito (53% of the man-biting mosquitoes caught). 5% of its larvae are parasitized with a fungus *Coelomomyces* sp., (ii) *A. pharoensis* has its maximum density during the second period of rice cultivation, as *Culex* gr. *decens*; both seem to succeed better in the dry season, contrary to all other anophelines, (iii) *A. coustani* profits by the third period when the pH of the breeding places becomes basic. The succession of these three anophelines seems to be generally apparent in African rice fields.

Correspondance: Pierre Carnevale, OCEAC, B.P. 288, Yaoundé, Cameroun

Other mosquitoes species above all depend on the season: (i) *A. funestus* represents only 1% of man-biting mosquitoes caught and is not found at larval stages. Its maximum density is observed at the end of the wet season, as is also normal in the surrounding areas. It is quite possible that adults of this species are issued from larval breeding places outside of the rice fields, (ii) *Mansonia africana* and *M. uniformis* get an advantage during the wet season especially at its end when the rice is mature, (iii) *Culex* genus get an advantage during the dry season. *C. poicilipes*, *C. univittatus* and *C. antennatus* have a maximum density at the third period of rice cultivation. *C. quinquefasciatus* population is constant.

Key words: rice field; mosquito ecology; *Anopheles gambiae*; *A. pharoensis*; *A. coustani*; *A. funestus*; Burkina Faso; West Africa.

Introduction

Les rizières constituent habituellement des biotopes très favorables à de nombreuses espèces culicidiennes (Surtees, 1970). Ceci a été vérifié par Chandler et Highton au Kenya (1975) et par Snow en Gambie (1983) qui ont aussi observé que les productions maximales de chacune des différentes espèces culicidiennes se succèdent selon une chronologie dépendante de la riziculture. Nous avons cherché à savoir si ces observations se vérifiaient dans la rizière de la Vallée du Kou au Burkina Faso.

Les moustiques agressifs pour l'homme dans le sud-ouest du Burkina Faso ont déjà fait l'objet d'études (Hamon, 1963). Les vecteurs majeurs des paludismes et de la filariose de Bancroft sont *Anopheles gambiae* et *A. funestus* (Hamon et al., 1956).

Présentation de la zone d'étude

La zone d'étude appartient à la marge méridionale des savanes soudaniennes. Le climat se caractérise par une saison pluvieuse de mai à octobre avec un maximum de précipitation en août et une saison sèche de novembre à avril; la moyenne annuelle des précipitations est 1000 mm.

La zone de la Vallée du Kou a été aménagée vers 1970 (Carnevale et Robert, 1987) et couvre 1000 hectares d'un seul tenant à 30 km au nord de Bobo-Dioulasso dans le sud-ouest du Burkina Faso. Quelques 12000 personnes vivent de la riziculture et habitent dans sept villages implantés soit à l'intérieur de la rizière soit à sa périphérie immédiate. Les riziculteurs appartiennent tous à la même coopérative agricole dont la direction décide du calendrier de culture et gère l'apport en eau pour l'irrigation. Deux cycles annuels de riziculture se déroulent (Robert et al., 1985): l'un en saison pluvieuse où le repiquage des jeunes pousses a lieu en août et où la récolte des épis mûrs a lieu en décembre, l'autre en saison sèche entre février et juin. L'irrigation se fait grâce à un petit barrage sur une rivière permanente (le Kou) et un réseau d'amenée et de distribution de l'eau. Entre deux cycles de culture l'irrigation est stoppée et la rizière asséchée.

Méthodes entomologiques

L'étude des stades imaginaux s'est déroulée de février à décembre 1984 dans un village du centre de la rizière, VK 4 (prononcé «Vallée du Kou numéro 4») et a été basée sur la collecte des moustiques agressifs pour l'homme, la nuit, à l'intérieur des maisons. 24 nuits de capture sur sujets humains ont été organisées de 20 h à 06 h, deux nuits consécutives toutes les quatre semaines, avec quatre captureurs par nuit, soit au total 96 hommes-nuits.

L'étude des stades larvaires s'est déroulée de mai 1984 à mai 1985 avec une interruption en décembre et janvier lors de l'assèchement de la rizière. Le même récolteur de larves de moustiques a prospecté le matin durant toute l'étude dans les mêmes collections d'eau choisis pour leurs représentativités: des casiers de riziculture, des canaux principaux en ciment et secondaires en terre pour la circulation de l'eau, une mare naturelle permanente et une rivière semi-permanente dans l'enceinte du périmètre rizicole. Les larves récoltées à la louche ou directement à la pipette ont été fixées et éclaircies dans du lactophénol puis montées entre lame et lamelle dans du PVA. La détermination spécifique a été effectuée sur des critères morphologiques et la présence éventuelle de spores de champignon parasite dans les larves a été notée. La température des collections d'eau a été notée systématiquement. En 1985 le pH de l'eau a été mesuré sur le terrain avec un appareil portable.

Résultats

Les moustiques adultes

Un total de 6804 moustiques appartenant à quatre genres, a été capturé sur sujets humains.

Le genre *Anopheles* est représenté par cinq espèces et correspond à 76,5% des captures.

Les individus endophiles du complexe *Anopheles gambiae* de ce village appartiennent pour plus de 95% à l'espèce *A. gambiae* et le reste à *A. arabiensis* (Robert et al., à paraître). Ce complexe représente à lui seul 53% des moustiques capturés. Il existe deux maxima annuels de densité d'*A. gambiae* s.l. (Tab. 1): l'un en saison sèche, lors de la mise en eau de la rizière, lors du repiquage des semis de riz et lors de la montaison des jeunes pousses; l'autre, quantitativement supérieur, en saison pluvieuse, lors des même phases de culture du riz. La densité d'*A. gambiae* s.l. est plus élevée en saison pluvieuse (68% des effectifs de l'espèce) qu'en saison sèche.

A. pharoensis est la seconde espèce la mieux représentée avec 20% des moustiques capturés. Il présente, comme *A. gambiae*, deux maxima de densité qui suivent dans le temps ceux de ce dernier, lors de l'épiaison du riz; contrairement à *A. gambiae* le pic de saison sèche est plus important que celui de saison pluvieuse.

A. coustani présente presque toute l'année une densité très faible sauf en mai et fin-octobre où 92% des effectifs de cette espèce sont observés. Ces maxima de densité correspondent aux phases de maturation de l'épi de riz et à la récolte alors que le casier à riz est en cours d'assèchement; le pic de saison sèche est moins important que celui de saison pluvieuse.

A. funestus est très faiblement représenté pendant toute l'année mais présente un pic de densité à la fin de la saison pluvieuse.

Six *A. nili* ont été capturés, tous pendant la saison pluvieuse.

Le genre *Mansonia* est observé avec *M. uniformis* et *M. africana* dont les dynamiques de population sont très comparables. *M. uniformis* représente 38% du genre *Mansonia* et *M. africana* 62%. Ces deux espèces représentent 15% des moustiques capturés. Elles sont observées toute l'année mais surtout en saison pluvieuse (60% des effectifs). Un seul maximum de densité existe en fin de saison pluvieuse.

Le genre *Culex* représente 8% de la capture. Il est surtout bien représenté en saison sèche. *C. poëcilipes*, *C. univittatus* et *C. antennatus* présentent un maximum de densité lors de la phase de maturation du riz, en saison sèche (Tab. 1). Par contre *C. quinquefasciatus* est rencontré toute l'année et ne présente pas de pic de densité, ses effectifs sont notables et stables de février à août et très faibles de septembre à décembre.

Enfin seulement 20 individus du genre *Aedes* sont observés, uniquement en saison pluvieuse. Les espèces *Ae. fowleri*, *Ae. luteocephalus* et *Ae. aegypti* ont été rencontrées et représentent 0,5% des captures. Ce genre est certainement sous-représenté à cause des captures qui ont débuté à 20 heures soit après le classique pic crépusculaire d'agressivité.

Les stades larvaires de moustiques

Un total de 2961 larves de moustique a été collecté, monté et déterminé à la suite de 88 collectes. Les trois genres *Anopheles*, *Culex* et *Aedes* ont été collectés.

Les larves du genre *Anopheles* avec 1973 larves représentent 67% du total.

A. gambiae s.l., comme dans l'étude des moustiques adultes est le mieux représenté avec 1144 exemplaires (39% des effectifs totaux). Les larves de ce complexe ont été rencontrées dans tous les types de gîte mais sont plus fréquentes dans les casiers à riz repiqué (39% des larves de l'espèce), les casiers à riz récolté en cours d'assèchement (21%) et les canaux en terre (27%). *A. gambiae* s.l. a été le seul à présenter des parasites: 5% des larves collectées ont été trouvées porteuses de spores de champignon du genre *Coelomomyces* et d'espèces non déterminées mais pouvant appartenir à celles déjà rencontrées dans la région chez *A. gambiae* (Coz, 1973). La proportion de larves parasitées n'est pas liée à un type particulier de gîte. Ces larves parasitées n'ont pas été observées en juin et juillet (Tab. 2).

A. coustani avec 428 larves (19% du total des larves) est numériquement la seconde espèce d'anophèle. Ses larves sont rencontrées principalement dans les casiers à riz avec épis en cours de maturation ou déjà mûrs (72% des larves de l'espèce) et les canaux en terre (21%).

A. pharoensis est rencontré à 345 exemplaires et représente 14% du total des larves; il est observé dans tous les types de gîtes mais surtout dans les casiers à riz avant que l'épi ne soit achevé (69% des larves de l'espèce).

La succession observée des maxima de densité de larves de ces trois principales espèces anophéliennes (Tab. 3) corrobore les observations faites sur les

populations imaginaires; pour ces espèces le pic de saison pluvieuse est supérieur à celui de saison sèche.

A. rufipes a été collecté à 43 exemplaires, *A. squamosus* à 12 et *A. nili* à 1.

Le genre *Culex* avec 882 larves représente 30% du total des larves capturées. Les *Culex* du groupe *decens* avec 790 larves représentent 90% des larves de ce genre et 28% du total des larves. Les larves de *C. gr. decens* sont rencontrées dans tous les types de gîtes, 60% proviennent des casiers à riz récemment repiqué ou récolté. *C. poicilipes* a été collecté à 37 exemplaires avec un maximum en mai, *C. telesilla* a été collecté à 20 exemplaires, *C. univittatus* à 14, *C. annulioris* à 9, *C. quinquefasciatus* à 5, *C. guiarti* à 3, *C. perfuscus* à 2 et *C. tigripes* à 2.

Le genre *Aedes* est représenté par deux espèces rencontrées uniquement entre juin et août: *Ae. fowleri* avec 12 larves et *Ae. hirsutus* avec 94 larves; ce genre correspond à 4% du total des larves.

Les gîtes larvaires les plus productifs sont les casiers à riz (70% du total des larves) et les canaux d'écoulement et de distribution (29%). La mare et la rivière naturelles a seulement procuré 1% des larves. Les casiers à riz récemment repiqué procurent le plus de larve (55% des larves collectées en casier) et les casiers à riz mûr, le moins (16%); les casiers où le riz est soit récolté soit à repiquer produisent 27% des larves et les parties de casier aménagées en pépinière 2%. Les canaux en terre sont les plus productifs (79%); ceux cimentés, où le débit est plus important, sont les moins productifs (21%).

Les températures des collections d'eau varient entre 21° (la mare en mars) et 38° (un casier à riz repiqué en septembre). La température moyenne pour chacun des différents types de gîte est 28° en août. Elle est maximale en mai (29°) et octobre (29°) et minimale en mars (25°).

58 mesures de pH ont été effectuées. Les pH des collections d'eau varient entre 5,01 et 7,75. La moyenne sur 20 mesures dans des casiers à riz récemment repiqué est 7,06 (variance = 0,73); la moyenne sur 18 mesures dans des casiers à riz proche de la maturité est 6,31 (variance = 0,33). Le pH moyen dans des canaux en terre est 6,31, dans des canaux en ciment 7,07 et dans la mare 6,26.

Discussion

Deux facteurs limitants des populations culicidiennes dans la rizière de la Vallée du Kou sont clairement mis en évidence par notre étude des stades imaginaires et larvaires: la saison et la culture du riz. Le cycle des saisons délimite principalement deux périodes: une sèche et une pluvieuse; le cycle de la culture du riz délimite trois périodes: la mise en eau et le repiquage, la montaison et l'épiaison, la maturité et la récolte. Les différentes espèces culicidiennes ne sont pas également sensibles au jeu combiné de ces différentes composantes de leurs biotopes.

Tableau 1. Nombre d'imagos des principaux *Anopheles*, *Mansonia* et *Culex* agressifs pour l'homme en 1984 dans un village de rizière de la Vallée du Kou, Burkina Faso

	Mois/Jours												Total
	f 21+22	m 20+21	a 18+19	m 15+16	j 12+13	j 10+11	a 7+8	s 3+4	2+3	o 30+31	n 27+28	d 26+27	
<i>A. gambiae</i>	296	359	86	214	226	455	635	650	417	209	33	3	3583
<i>A. pharoensis</i>	4	162	431	226	37	27	4	37	264	125	9	3	1329
<i>A. coustani</i>	3	0	6	64	1	1	0	0	4	122	2	0	203
<i>A. funestus</i>	1	0	1	3	2	2	0	0	0	48	31	1	89
<i>A. nili</i>	0	0	0	0	0	5	0	0	1	0	0	0	6
<i>M. uniformis</i> + <i>M. africana</i>	0	2	4	96	41	130	32	22	61	532	106	3	1029
<i>C. poicilipes</i>	0	4	59	212	8	3	0	1	12	13	0	0	312
<i>C. univittatus</i>	9	1	0	46	1	0	3	0	0	0	3	2	65
<i>C. antennatus</i>	4	2	1	41	0	0	0	0	0	0	0	0	48
<i>C. quinquefasciatus</i> ...	24	10	23	17	9	11	14	3	3	2	2	2	120
Cycle du riz	repiquage			récolte			repiquage			épiaison			
Saison	sèche						pluvieuse						récolte sèche

Tableau 2. Nombre de larves d'*Anopheles gambiae* s.l. collectées et porteuses de spores de *Coelomomyces* sp. de mai 1984 à mai 1985 dans la rizière de la Vallée du Kou, Burkina Faso

	Mois														Total
	m	j	j	a	s	o	n	d	j	f	m	a	m		
Collectées	0	185	169	293	169	68	53	-	-	39	149	14	5		1144
Parasitées	0	0	0	35	18	1	0	-	-	0	5	0	0		59
				(12%)	(11%)	(1%)					(3%)				(5,2%)
Cycle du riz	récolte			repiquage			épiaison			récolte			repiquage		
Saison				pluvieuse						sèche			épiaison		

Tableau 3. Nombre de larves collectés par collecte, pour les espèces les plus fréquentes, de mai 1984 à mai 1985 dans la rizière de la Vallée du Kou, Burkina Faso

	Mois														
	m	j	j	a	s	o	n	d	j	f	m	a	m	j	
Nombre de collectes	1	13	15	14	12	10	4	0	0	2	8	3	6	0	
<i>A. gambiae</i>	0	14,2	11,3	20,9	14,1	6,8	13,2	-	-	19,5	18,6	4,7	0,8	-	
<i>A. pharoensis</i>	1	2,6	1,8	2,6	12,2	3,2	2,5	-	-	0,5	2,2	5,7	3,8	-	
<i>A. coustani</i>	1	1,8	0,5	0,5	1,3	23,5	14,2	-	-	0	0,4	3,7	11,2	-	
<i>C. gr. decens</i>	0	3,1	7,7	11,9	13,3	5,5	3,2	-	-	7,5	14,1	27	5,2	-	
Cycle du riz	repiquage			épiaison			récolte			repiquage			épiaison		
Saison				pluvieuse			sèche								

Toutes les espèces de moustique rencontrées sont dépendantes du facteur «saison»; le genre *Culex* et *A. pharoensis* sont avantagés en saison sèche, les autres espèces du genre *Anopheles* et les genres *Mansonia* et *Aedes* sont avantagés en saison des pluies.

Il est bien évident que le facteur «culture du riz» n'intervient pas sur les espèces dont la rizière ne constitue pas un gîte larvaire; c'est probablement le cas d'*A. funestus*, défavorisé dans ce périmètre rizicole, qui présente un classique maximum de densité en fin de saison pluvieuse. Cette espèce n'a pas été collectée aux stades larvaires dans la rizière et ne représente que 1% des imagos capturés alors qu'elle est abondante dans la savane avoisinante (Robert et al., 1985); aussi est-il probable que les imagos capturés proviennent de gîtes larvaires extérieurs à la rizière. C'est aussi le cas de *C. quinquefasciatus* dont la densité imaginale est notable et stable pendant toute la saison sèche alors qu'il n'a été collecté aux stades larvaires qu'à 5 exemplaires.

Les espèces à stades larvaires habituellement rencontrés dans la rizière sont nettement dépendantes du cycle du riz:

- *A. gambiae* s.l. bénéficie grandement de la riziculture en particulier lors de la mise en eau des casiers et du repiquage alors que les conditions d'ensoleillement sont favorables et grâce à sa faculté de coloniser rapidement toute nouvelle collection d'eau adéquate (Mouchet, 1962). C'est le vecteur majeur du paludisme humain dans cette rizière (Robert et al., 1985). La température des gîtes semble favorable; Armstrong et Bransky-Williams (1961) obtiennent en insectarium un rendement optimal de leur élevage à 26,5°. C'est vraisemblablement la réduction de l'ensoleillement, due à la montaison du riz, qui réduit la densité larvaire de cette espèce.
- *A. pharoensis* lui succède pendant la phase de montaison et d'épiaison puis décline après. La cause du déclin de cette espèce n'est pas identifiée mais il est possible que la diminution du pH des gîtes larvaires soit impliquée, révélant une modification physico-chimique de l'eau avec un accroissement probable de la quantité de matières organiques. *A. pharoensis* qui est une espèce bien adaptée aux zones sèches, sahélienne et même prédésertique (Gillies et De Meillon, 1968) est aussi plus avantagé dans la rizière de la Vallée du Kou en saison sèche qu'en saison pluvieuse; l'étude des stades imaginaires dont la méthode employée est plus fiable pour apprécier une densité relative que la méthode utilisée dans l'étude de stades larvaires, montre une densité de mars à mai double de celle observée en septembre et octobre (Tab. I).
- *A. coustani* lui succède avec une réussite certaine pendant la brève période de maturité du riz et la récolte qui a lieu alors que les casiers sont asséchés.

L'influence des caractéristiques physico-chimiques des gîtes larvaires sur la colonisation par différentes espèces culicidiennes a déjà été notée (Doby et Mouchet, 1957; Mogi et al., 1986); en particulier le pH semble jouer un rôle dans le contrôle du développement larvaire (De Alwis et Munasinghe, 1971), les larves de *C. quinquefasciatus* se développant à pH basique dans des eaux riches

en matières organiques et les larves d'anophèle à pH acide dans des eaux bien oxygénées (Rageau et Adam, 1952).

Nos observations correspondent à celles de Chandler et Highton (loc. cit.) et surtout de Snow (loc. cit.) et il semble bien que la succession d'*A. gambiae* puis d'*A. pharoensis* puis d'*A. coustani* soit de règle dans les rizières africaines. Cette succession est occasionnée par la modification des caractéristiques des gîtes larvaires liée au cycle du riz; ceci en saison sèche comme en saison pluvieuse. En particulier dans le contexte de l'aménagement des terres rendues disponibles par suite du succès de la lutte contre l'onchocercose, ces informations sur la bioécologie des différentes espèces anophéliennes constituent un préalable indispensable à l'élaboration de toute lutte anti-vectorielle dans la sous-région ouest-africaine.

- Armstrong J. A., Branksy-Williams W. R.: The maintenance of a colony of *Anopheles gambiae* with observations on the effects of changes of temperature. Bull. Org. mond. Santé 24, 427-435 (1961).
- Carnevale P., Robert V.: Introduction of irrigation in Burkina Faso and its effect on malaria transmission. In: Effects of agricultural development on vector-borne diseases. Rapport FAO: AGL/MISC/12/87, 57-67 (1987).
- Chandler J. A., Highton R. B.: The succession of mosquito species in rice fields in the Kisumu area of Kenya, and their possible control. Bull. ent. Res. 65, 295-302 (1975).
- Coz J.: Contribution à l'étude du parasitisme des anophèles Ouest-africain: *Mermithidae* et *Coelomomyces*. Cah. ORSTOM Sér. Ent. méd. Parasit. 11, 237-241 (1973).
- De Alwis R. E., Munasinghe C. H.: Hydrogen-ion concentration in breeding habitats of *Culex pipiens fatigans* (Wied.) and associated mosquitoes. Bull. Org. mond. Santé 45, 853-854 (1971).
- Doby J. M., Mouchet J.: Ecologie larvaire de quelques espèces de culicidés dans la région de Yaoundé, Sud-Cameroun. Bull. Soc. Path. exot. 50, 945-957 (1957).
- Gillies M. T., De Meillon B.: The *Anophelinae* of Africa South of the Sahara. South African Institute for Medical Research n° 54, Johannesburg, p. 343 (1968).
- Hamon J.: Les moustiques anthropophiles de la région de Bobo-Dioulasso (Rép. de Haute Volta). Cycles d'agressivité et variations saisonnières. Ann. Soc. Entomol. 132, 85-144 (1963).
- Hamon J., Adam J. P., Grjebine A.: Observation sur la répartition et le comportement des anophèles de l'Afrique Equatoriale française, du Cameroun et de l'Afrique Occidentale. Bull. Org. mond. Santé 15, 549-591 (1956).
- Mogi M., Okasawa T., Miyagi I., Sucharit S., Tumrasvin W., Deesin T., Khamboonruang C.: Development and survival of anopheline immatures in rice fields in northern Thailand. J. med. Entomol. 23, 244-250 (1986).
- Mouchet J.: Influence des fleuves sur la biologie d'*Anopheles gambiae* pendant la saison sèche dans le Sud-Cameroun. Bull. Soc. Path. exot. 55, 1163-1171 (1962).
- Rageau J., Adam J. P.: *Culicinae* du Cameroun. Ann. Parasit. hum. comp. 27, 610-635 (1952).
- Robert V., Gazin P., Boudin C., Molez J. F., Ouedraogo V., Carnevale P.: La transmission du paludisme en zone de savane et en zone rizicole de la région de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. Ann. Soc. belge Méd. trop. 65, Suppl. 2, 201-214 (1985).
- Snow W. F.: Mosquito production and species succession from an area of irrigated rice fields in The Gambia, West Africa. J. trop. Med. Hyg. 86, 237-245 (1983).
- Surtees G.: Effects of irrigation on mosquito populations and mosquito-borne diseases in man, with particular reference to rice fields extension. Int. J. environm. Stud. 1, 35-42 (1970).

2. Relations vecteurs-parasites

- 2.1. Study of the distribution of circumsporozoite antigen in *Anopheles gambiae* infected with *Plasmodium falciparum*, using the enzyme-linked immunosorbent assay.
ROBERT V., VERHAVE J.-P., PONNUDURAI T., LOUWÉ L., SCHOLTENS P. & CARNEVALE P.
Trans. R. Soc. trop. Med. Hyg., 1988, 82: 389-391.....p. 143
- 2.2. Utilisation de la technique ELISA dans le dépistage des moustiques infectés par *Plasmodium falciparum*.
BOUDIN C., ROBERT V., VERHAVE J.P., CARNEVALE P. & MEUWISSEN J.H.E.T.
Bull. Org. mond. Santé, 1988, 66: 87-97.....p. 147
- 2.3. Réceptivité à *Plasmodium falciparum* d'*Anopheles gambiae* soumis à *Bacillus t huringiensis* sérotype H 14 ou à *Bacillus sphaericus*.
ROBERT V., BOUSSINESQ M., BOUDIN C., CONAN H., DARRIET F. & CARNEVALE P.
Cah. ORSTOM Sér. Ent. méd. Parasitol., 1987, 25: 63-68.....p. 159

Study of the distribution of circumsporozoite antigen in *Anopheles gambiae* infected with *Plasmodium falciparum*, using the enzyme-linked immunosorbent assay

Vincent Robert¹, Jan Peter Verhave², Thivi Ponnudurai², Leoni Louwé², Paul Scholtens² and Pierre Carnevale¹ ¹Antenne ORSTOM du Centre MURAZ, B. P. 171, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso; ²Department of Medical Parasitology, University of Nijmegen, Geert Grooteplein Zuid 24, 6500 HB Nijmegen, The Netherlands

Abstract

Anopheles gambiae, experimentally infected with *Plasmodium falciparum*, were dissected 14 days later for microscopical detection of sporozoites and oocysts. The head, salivary glands, thorax, midgut, legs, ovaries, Malpighian tubules, the remainder of the abdominal tissues and the dissection fluid of each mosquito were examined by a two-site enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) for the detection and quantification of circumsporozoite antigen (CS ag). 19 mosquitoes had CS ag in at least one of the specimens examined. Very large individual variability was observed in the presence and/or quantity of CS ag in the various parts. 7 mosquitoes were ELISA-positive in all 9 specimens; the salivary glands and thorax contained most CS ag, whereas the Malpighian tubules and ovaries contained the least; all the thoraces contained CS ag, even that of one mosquito of which the salivary glands lacked both sporozoites and CS ag; of 17 ELISA-positive salivary glands, 15 were found to contain sporozoites. The existence of free antigen associated with sporozoites, and the limitations of the ELISA technique in demonstrating the infectivity of a malaria vector, are discussed.

Introduction

Immunological techniques for the detection of circumsporozoite antigen (CS ag) in anophelines are very interesting new tools for the entomologist in the field (ZAVALA, 1985). They permit the demonstration of the presence of CS ag, estimation of the sporozoite load, and determination of the *Plasmodium* species present in the vector. The tests can be applied to mosquitoes that are fresh, dried or deep-frozen, which allows for great flexibility in the delayed processing of captured mosquitoes. The enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA), as modified by VERHAVE *et al.* (1988), has the great advantage that potentially hazardous radioactive material and sophisticated equipment are not needed; it can be applied in moderately equipped laboratories.

This technique has been used, together with classical dissection of anophelines captured on human bait during the night, to obtain comparative data on sensitivity and specificity (BOUDIN *et al.*, 1988).

The aim of the present work was to evaluate the importance of the technique in the study of *Anopheles-Plasmodium* relationships, particularly with respect to the distribution of CS ag in experimentally infected anophelines.

Materials and Methods

Anopheles gambiae Giles have been bred in the

insectary over several years; wild caught specimens are regularly added. The adults have continuous access to sucrose solution. The day of emergence is designated day 0; on days 2 and 3 the female mosquitoes are allowed to feed on a rabbit.

Experimental infection took place on day 5, using the method of RUTLEDGE *et al.* (1964); infected blood was placed in a reservoir, covered with Parafilm, and exposed to mosquitoes for 5 min.

Plasmodium falciparum was obtained in venous blood from a naturally infected child living in a village near Bobo-Dioulasso; the gametocyte count was 800/mm³.

The fully fed females were kept at 28°C and 80% relative humidity. On days 10 and 15 the mosquitoes were permitted to feed on a rabbit; on day 19 they were killed by exposure to -20°C for a few minutes and immediately dissected. After removal of the wings the following parts were dissected and kept separate: (i) the legs, (ii) the head and its appendages, (iii) the salivary glands, (iv) the thorax, (v) the ovaries, (vi) the Malpighian tubules and the hind gut, (vii) the midgut and oesophagus, (viii) the balance of the abdominal structures, i.e. cuticle, fat bodies, genitalia, spermathecae etc., and (ix) the drop of physiological saline in which the dissection had taken place and which contained some haemocoelic fluid.

The midguts and salivary glands were examined microscopically for oocysts and sporozoites respectively, at 100x magnification, without staining or crushing.

Before examination by ELISA the hard parts of the mosquitoes (legs, head, thorax, abdominal cuticle) were mechanically ground and frozen in the presence of the detergent Nonidet-P40, to solubilize the antigenic fractions. The soft parts (salivary glands, ovaries, midgut, hindgut) were merely mixed with the detergent solution and twice frozen and thawed.

Enzyme-linked immunosorbent assay

The ELISA described by VERHAVE *et al.* (1988) was used for the detection of CS ag in the different parts of the mosquitoes. Briefly, the monoclonal antibody (Mab) 3Sp2, raised against CS protein, was coated on the wells of Microtiter plates, to capture CS ag when present. Detection of the captured CS ag was done in 2 steps: firstly, the same Mab, now biotinylated, was added in order to react with the captured CS ag and, secondly, a complex of streptavidin-biotin-peroxidase was added, which reacts with the biotinylated Mab. The substrate of the colorimetric reaction was tetramethylbenzidine. The optical density (OD) of the reaction was measured by a spectrophotometer,

Table—Optical density (OD) and microscopical observation of individual *A. gambiae* dissected 14 days after experimental infection with *P. falciparum*

OD class ^a	Head	Glands ^b	Thorax	Midgut ^c	Remainder of abdomen	Haemocoel (dissection fluid)	Legs	Ovaries	Malpighian tubes + hindgut
4	3	10	7	2	2	3	3	1	0
3	6	4	8	6	5	6	7	4	2
2	5	2	2	6	6	1	2	2	3
1	1	1	1	1	2	5	2	2	2
0	4	1	0	3	4	4	5	9	12
nd	0	0	1	1	0	0	0	1	0
All classes	41	57	57	39	38	37	39	22	14

^aClasses of OD: 0 = threshold value or below; 1 = threshold value-0.1; 2 = 0.1-0.249; 3 = 0.25-0.49; 4 = 0.5 or above; nd = not determined.

^b15 with sporozoites, 4 without. ^c12 with oocysts, 6 without.

using a 450 nm filter. A minimal OD representing the threshold positive value was determined for each plate, using a pool of negative mosquitoes. For this study the ODs were expressed in 5 classes: 0 for an OD below the threshold value (usually about 0.06) and 1-4 for ODs above the threshold value but below 0.1, 0.1-0.249, and 0.250-0.500, respectively.

Results

All *A. gambiae* surviving 14 d after their infective bloodmeal were dissected. 19 of 42 (45%) gave an OD exceeding the threshold value in at least one part of their body and the results presented (Table) include these only. The others were completely negative in the ELISA.

Classical microscopy. The presence of sporozoites was noted in 14 of the 19 salivary glands examined, and oocysts in 12 of the 18 midguts examined.

ELISA. The 18 thoraces tested were all positive, as were 17 glands of the 19 tested.

All 9 specimens from 7 mosquitoes were positive, whilst 1-7 specimens from the other 12 mosquitoes were in the OD class 0.

We observed a wide range of OD, and considering the values it was possible to establish a classification of various regions in terms of decreasing OD values: (i) the thorax and the salivary glands; (ii) the head, midgut, legs, abdominal cuticle and haemocoel; (iii) the ovaries; and (iv) the Malpighian tubules with the hind gut.

OD values were clearly higher in the anterior parts of the mosquitoes (head, thorax) than in the posterior parts (abdomen, except the midgut). The highest values were found in the salivary glands.

Comparison of microscopy and ELISA. When sporozoites were observed in the salivary glands, CS ag was also detected in all 14 mosquitoes. There was a lot of CS ag in the salivary glands (OD index 3 or 4), which corresponds to over 300 sporozoites (VERHAVE *et al.*, 1988). In 4 mosquitoes in which no sporozoites were observed, the ELISA detected CS ag at a low OD in 2 sets of glands; in the other 2 the ODs were below the threshold value.

When at least one oocyst was seen in the midgut wall, we also found CS ag (in all 11 mosquitoes). In 14 out of 17 instances the results were the same by both techniques: 11 mosquitoes were positive and 3 were negative. In 3 mosquitoes no oocyst was observed but CS ag was detected by ELISA in the midgut.

In one mosquito the thorax (without salivary glands) was positive by ELISA, and it would thus

have been classified as infective, although no sporozoites nor CS ag were demonstrated by microscopy or ELISA in the salivary glands.

Discussion

The comparative analysis of information produced by classical microscopical observation and the serological procedure has clearly demonstrated the broad variability of individual mosquito susceptibility to infection by *P. falciparum*. This is despite the likely genetical homogeneity of the *A. gambiae* insectarium strain, and it probably reflects what effectively happens in nature.

The risk of CS ag contamination between the different parts of the same mosquito during dissection could not be avoided, but the presence of CS ag in parts of mosquitoes that were unlikely to be contaminated was a surprising observation, particularly the legs, which were cut off before the saline was added. Whether this was due to the presence of sporozoites or of free CS ag cannot be determined with ELISA (VERHAVE *et al.*, 1988). It is likely that sporozoites from ruptured oocysts are transported by the haemolymph throughout the whole mosquito. Using immunofluorescence, we have seen sporozoites even in the legs of mosquitoes, which confirms some very early work by Mayer and Mühlens quoted by GABALDON and ULLOA (1978). Our results with the ELISA, including the low positivity of ovaries, agree with earlier observations and reports in the literature. Present knowledge about the migration routes of sporozoites from oocysts to salivary glands is very restricted (SINDEN, 1978). However, since the highest OD values were found in the salivary glands, which are relatively small in size, it appears that the sporozoites preferentially accumulate into this organ rather than in other parts.

The presence of CS ag in the thorax of one mosquito and the absence of sporozoites and CS ag from its salivary glands show that, using thoraces, the ELISA cannot differentiate between an infected and an infective mosquito. This problem was also encountered in the field in Burkina Faso (LOMBARDI *et al.*, 1987). It is important to examine the suitability of the new method as a substitute for dissection and microscopical examination, up to now the normal approach in epidemiological field work. However, we do not consider classical microscopy to be the ideal reference technique, as small numbers of sporozoites may be missed, particularly when the salivary glands are not crushed.

Both microscopy and ELISA can be used as complementary approaches for mass surveys in the field. We propose to conserve the dried thoraces of mosquitoes, the salivary glands of which contained sporozoites, and/or to save the salivary glands and the dissection liquid frozen for later assessment by ELISA of the species of *Plasmodium* and relative quantity of CS ag.

Acknowledgement

We thank Jean Mouchet and René le Berre for critically reading the manuscript.

References

- Boudin, C., Robert, V., Verhave, J. P., Carnevale, P. & Meuwissen, J. H. E. T. (1988). La technique ELISA (enzyme-linked immuno-sorbent assay) dans le dépistage des moustiques infectés par *Plasmodium falciparum*. I. Evaluation de la fiabilité et de l'efficacité du test. II. Application sur le terrain. *Bulletin of the World Health Organization*, 66, in press.
- Gabaldon, A. & Ulloa, G. (1978). A quick and easy method to determine the sporozoite index in mosquitoes. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 72, 311-312.
- Lombardi, S., Esposito, F., Zavala, F., Lamizana, L., Rossi, P., Sabatinelli, G., Nussenzweig, R. S. & Colluzzi, M. (1987). Detection and anatomical localization of *Plasmodium falciparum* circumsporozoite protein and sporozoites in the Afrotropical malaria vector *Anopheles gambiae* s.l. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 37, 491-494.
- Rutledge, L. C., Ward, R. A. & Gould, D. J. (1964). Studies on the feeding response of mosquitoes to nutritive solution in a new membrane feeder. *Mosquito News*, 24, 407-419.
- Sinden, R. E. (1978). Cell biology. In: *Rodent Malaria*, Killick-Kendrick, R. & Peters, W. (editors). London: Academic Press, pp. 85-168.
- Verhave, J. P., Leeuwenberg, A. D. E. M., Ponnudurai, T., Meuwissen, J. H. E. T. & Van Druten, J. A. M. (1988). The biotine streptavidin system in a two-site ELISA for the detection of plasmodial sporozoite antigen in mosquitoes. *Parasite Immunology*, 10, 17-31.
- Zavala, F. (1985). Methods for evaluation of the impact of vaccination in control of malaria: innovative techniques. In: *Proceedings of the Asia and Pacific Conference on Malaria*, Siddiqui, W. A. (editor). Honolulu: University of Hawaii, pp. 527-531.

Received 17 November 1987; accepted for publication 12 January 1988.

Utilisation de la technique ELISA dans le dépistage des moustiques infectés par *Plasmodium falciparum*

C. BOUDIN,¹ V. ROBERT,² J. P. VERHAVE,³ P. CARNEVALE,⁴ & J. H. E. T. MEUWISSEN⁵

L'étude présentée vise en premier lieu à évaluer la fiabilité et l'efficacité du titrage immunoenzymatique dans le dépistage des moustiques infectés par Plasmodium falciparum, par rapport à la méthode parasitologique classique (dissection et examen microscopique des glandes salivaires), et en second lieu à étudier l'applicabilité de cette méthode immunologique sur le terrain. Dans une première partie sont passées en revue les caractéristiques de la technique ELISA utilisée, les variations de sa fiabilité (reproductibilité, sensibilité, spécificité) et son efficacité selon l'intensité de la charge sporozoïtaire. La seconde partie présente une enquête longitudinale sur la dynamique de transmission de l'infection, effectuée en 1985 dans le sud-ouest du Burkina Faso. Au terme de cette étude, il semble que l'ELISA soit une technique spécifique, moyennant certaines précautions (comme la séparation des abdomens de l'ensemble tête-thorax ou le réexamen des moustiques faiblement positifs), et que sa sensibilité soit supérieure à celle de la dissection.

1) Evaluation de la fiabilité et de l'efficacité de l'épreuve

Le taux d'inoculation est un des paramètres entomologiques les plus importants en épidémiologie du paludisme. Cet indice est égal au produit de l'agressivité anophélienne quotidienne pour l'homme par l'indice sporozoïtaire (7). L'agressivité anophélienne est évaluée par le nombre d'anophèles venant piquer l'homme, tandis que l'indice sporozoïtaire traduit la prévalence de l'infection, classiquement estimée par la dissection des glandes salivaires des moustiques capturés. Cette dissection ne peut être réalisée que sur des insectes non desséchés et prend un certain temps, même à un expérimentateur entraîné, ce qui limite le nombre de moustiques disséqués, et donc la précision de la prévalence, surtout dans les zones à faible transmission paludéenne. D'autre part, l'observation des glandes infectées ne permet pas de quantifier la

charge sporozoïtaire ni de caractériser l'espèce de plasmodium en cause.

La production d'anticorps monoclonaux spécifiques de l'espèce et du stade sporozoïtaire (8) a permis la mise au point de nouvelles techniques pour détecter des moustiques infectés par radio-immunologie (14) ou par enzymo-immunologie (1). Ces techniques présentent par rapport à la dissection classique le double avantage de pouvoir être réalisées sur des moustiques secs et sur de grandes séries d'échantillons, et de permettre de quantifier la charge sporozoïtaire et d'identifier l'espèce de plasmodium en cause.

Nous avons appliqué sur le terrain une nouvelle technique ELISA (titrage avec immunoabsorbant lié à une enzyme), parallèlement à la dissection classique des glandes salivaires, sur des moustiques sains et expérimentalement infectés.

La fiabilité (reproductibilité — sensibilité — spécificité) et l'efficacité (valeur diagnostique) de cette épreuve immunologique ont pu être ainsi déterminées.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Technique immunologique

Nous avons utilisé l'épreuve ELISA décrite par Verhave et al. en 1986 (13). Des plaques de polystyrène sont sensibilisées, dans un premier temps, avec un anticorps monoclonal (3 spz) spécifique du

¹ Chargé de recherche (parasitologue) ORSTOM, Département de parasitologie, Faculté de Médecine de l'Université scientifique et médicale de Grenoble, 38700 La Tronche, France. Les demandes de tirés à part doivent être adressées à cet auteur.

² Chargé de recherche (entomologiste) ORSTOM, Centre Muraz, B.P. 171, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso.

³ Docteur en médecine et ès sciences, Département de parasitologie médicale, Faculté de Médecine de l'Université catholique, Geert Grooteplein Zuid 24, 6500 Nimègue, Pays-Bas.

⁴ Directeur de recherches ORSTOM, Centre Muraz, B.P. 171, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso.

⁵ Professeur de médecine tropicale, Faculté de Médecine de l'Université catholique, Geert Grooteplein Zuid 24, 6500 Nimègue, Pays-Bas.

sporozoïte de *Plasmodium falciparum*. Dans un deuxième temps, le tiers d'une suspension de moustique broyé est ajouté. Dans un troisième temps, le même anticorps monoclonal, marqué à la biotine, est introduit et se fixe sur les immunocomplexes (anticorps monoclonal—antigène sporozoïtaire) formés. On ajoute alors le complexe streptavidine—biotine—peroxydase^a qui se fixe sur l'anticorps monoclonal marqué. L'activité peroxydasique est révélée par une réaction colorimétrique utilisant comme substrat l'eau oxygénée et comme chromogène l'orthophénylènediamine. La lecture se fait au spectrophotomètre avec un filtre de 405 nanomètres.

Nous avons réalisé sur chaque plaque les témoins suivants:

- 4 puits, aléatoirement dispersés, d'un témoin positif de référence (broyat de 100 moustiques d'élevage expérimentalement infectés, réparti en aliquotes congelées);
- 2 puits consécutifs d'un témoin négatif de référence (broyat de 100 moustiques d'élevage sains, également réparti en aliquotes congelées);
- 8 puits consécutifs d'une dilution, de progression géométrique de raison 2, d'une suspension initiale de 400 000 sporozoïtes/ml, elle aussi stockée en aliquotes congelées;
- enfin, 8 puits consécutifs d'un témoin optique ne contenant pas de moustique, mais tous les produits intervenant dans la réaction.

Méthodologie

La reproductibilité de la technique a été évaluée sur 14 plaques en comparant entre elles d'une part les 14 valeurs moyennes du témoin positif de référence, et d'autre part celles des dilutions successives de la suspension standard de sporozoïtes. Chaque plaque a été testée avec le même lot d'anticorps monoclonal par le même manipulateur.

Pour déterminer le seuil de positivité de la réaction, nous avons testé 369 moustiques d'élevage (*Anopheles gambiae* s.s.) et 886 moustiques sauvages (*A. gambiae* s.l.) capturés en zone d'endémie faible pendant la saison de non-transmission. Tous les moustiques ont été séchés sous vide et conservés à 4°C pendant 1 à 12 semaines, puis traités en entier (tête, thorax et abdomen).

La sensibilité et la spécificité de la réaction et sa valeur diagnostique (6) ont été évaluées sur deux populations de moustiques (*A. gambiae* d'élevage), l'une saine, l'autre expérimentalement infectée sur des porteurs de 40, 60 et 1200 gamétocytes/mm³. Les moustiques ont été disséqués pour détecter une infection des glandes salivaires, qui ont été recueillies

puis testées par l'épreuve ELISA susmentionnée. La sensibilité de cette épreuve a été déterminée par la proportion de moustiques parasités positifs en immunologie rapportée à l'ensemble des moustiques parasités; la spécificité l'a été par la proportion de moustiques sains (moustiques d'élevage) négatifs en immunologie rapportée à l'ensemble des moustiques sains. L'efficacité de l'épreuve immunologique a été évaluée par rapport à trois paramètres (6):

- la valeur prédictive d'un diagnostic positif (VPD+), qui est la proportion de moustiques infectés par rapport aux moustiques positifs en ELISA;
- la valeur prédictive d'un diagnostic négatif (VPD-), qui est la proportion de moustiques sains par rapport aux moustiques négatifs en ELISA;
- et la valeur globale de l'épreuve (VG), qui est la proportion de moustiques infectés ou sains correctement classés par rapport à l'ensemble des moustiques testés.

Pour étudier la cinétique d'apparition de l'antigène sporozoïtaire chez les moustiques infectés, nous avons disséqué des lots de 10 à 15 moustiques aux 7^e, 8^e, 9^e, 10^e, 11^e et 12^e jour après l'infection expérimentale. Les glandes salivaires et les estomacs ont été examinés au microscope, sans écrasement entre lame et lamelle, afin de rechercher des sporozoïtes et des oocystes. Chacun de ces prélèvements a été ensuite aspiré et testé en ELISA.

RÉSULTATS

Reproductibilité de la technique

En nous référant aux deux critères d'évaluation retenus pour l'étude de la reproductibilité, nous avons observé entre les 14 plaques testées des variations importantes, aussi bien de la densité optique (DO) du témoin positif (0,7 à 1,2) que des DO observées pour des dilutions équivalentes de sporozoïtes (figure 1.A). Ce manque relatif de reproductibilité nous a fait adopter, pour chaque plaque, un coefficient de correction (K) représentant la valeur moyenne du témoin positif calculée sur l'ensemble des plaques, divisée par la valeur moyenne du témoin positif calculée sur la plaque testée.

Chaque DO de la plaque a été ensuite multipliée par la valeur de K. La sensibilisation des plaques par l'anticorps monoclonal pouvant être hétérogène, nous avons exprimé la valeur du témoin positif observé sur la plaque par la moyenne de 4 puits répartis aléatoirement. L'application de ce coefficient de correction aux dilutions de la suspension standard de sporozoïtes a donné les valeurs moyennes représentées dans la figure 1.B.

^a Laboratoire Amersham, Amersham (Buckinghamshire), Angleterre.

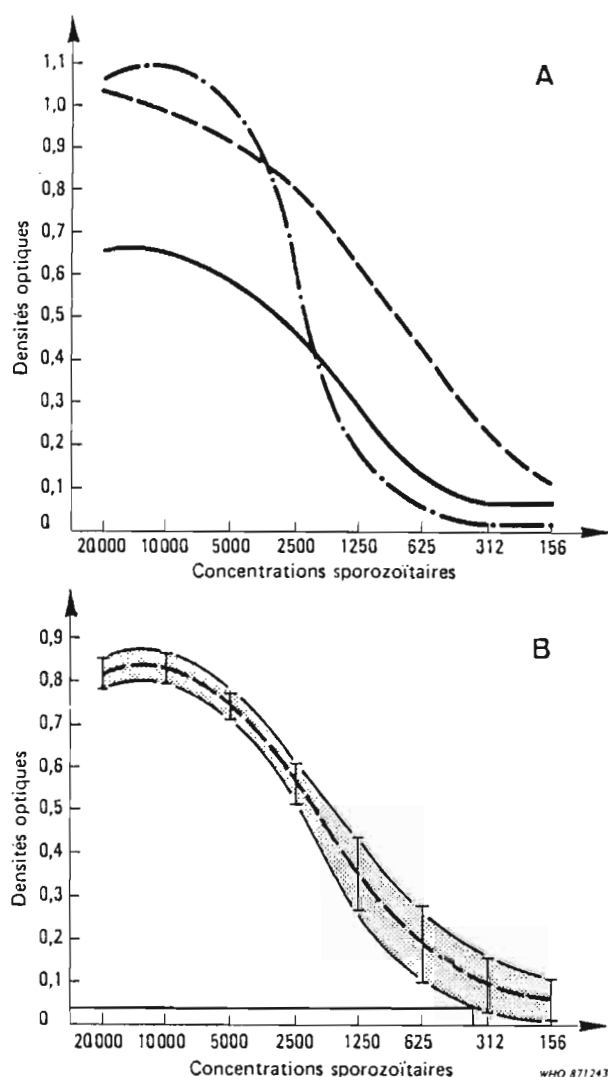
UTILISATION DE L'ELISA POUR DÉPISTER LES MOUSTIQUES INFECTÉS PAR *P. FALCIPARUM*

Fig. 1. Distribution des densités optiques (DO) en ELISA, en fonction des concentrations sporozoïtaires pour 50 μ l: A—distribution des DO non corrigées obtenues sur 3 plaques représentatives des réponses observées pour les dilutions successives d'une même suspension de sporozoïtes; B—courbes des valeurs moyennes des DO corrigées et de leur écart type, obtenues sur l'ensemble de 14 plaques pour les dilutions successives de la suspension standard de sporozoïtes.

Détermination du seuil de positivité de la réaction

Les distributions des DO des 369 moustiques d'élevage et des 886 moustiques sauvages sont données dans la figure 2. Nous remarquons une distribution normale des DO des moustiques d'élevage (test de Kolmogorov-Smirnov non significatif). En revanche, il semble exister deux populations de moustiques

sauvages: le premier groupe a une distribution normale (vérifiée par le test de Kolmogorov-Smirnov) avec une DO moyenne de $-0,004$ (équivalente à celle des moustiques d'élevage) et une DO maximale approximativement égale à $+0,040$ (figure 2); la distribution du deuxième groupe est décalée vers la droite (DO égales ou supérieures à $+0,050$), ce groupe comprenant probablement des moustiques légèrement infectés. Les moustiques sauvages à DO inférieure ou égale à $+0,040$ ont été considérés comme négatifs. La distribution groupée des moustiques d'élevage négatifs et des moustiques sauvages probablement négatifs est normale (test de Kolmogorov-Smirnov non significatif). Comme 99,9% des moustiques «négatifs» ont une DO inférieure à $+0,040$ (moyenne $+3$ écarts types en situation unilatérale), nous avons fixé le seuil de positivité à $DO = 0,040$.

Relation entre charge sporozoïtaire et réponse en ELISA

Les DO obtenues avec différentes dilutions successives de sporozoïtes se répartissent selon une courbe sigmoïde. Il n'existe une relation de proportionnalité entre la charge sporozoïtaire et la DO que dans l'intervalle 5000–300 sporozoïtes/50 microlitres (figure 1.A). Comme un tiers seulement du broyat de moustique a été testé, cela correspond à un intervalle de 15 000–900 sporozoïtes/moustique. Hors de ces limites, de très fortes variations de la charge sporozoïtaire n'entraînent que de faibles variations de la réponse immunologique (figure 1.B).

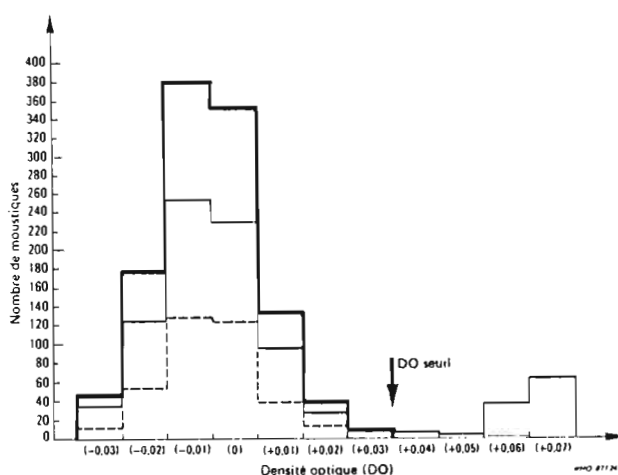


Fig. 2. Distribution des DO en ELISA des moustiques sains d'élevage (-----) et sauvages (———), avec leur distribution groupée (———).

Tableau 1. Corrélation entre résultats parasitologiques et immunologiques chez les mêmes moustiques

	Dissection	Immunodiagnostic			Sensibilité (ss) et spécificité (sp) ^d
		(+) ^a	(-) ^b	Total ^c	
Moustiques infectés par 40-60 gamétocytes/mm ³	(+)	118 (VP)	23 (FN)	141 (P)	ss = 83,7%
	(-)	24 (FP)	161 (VN)	185 (N)	
		142	184	326	
Moustiques infectés par 1200 gamétocytes/mm ³	(+)	122 (VP)	13 (FN)	135 (P)	ss = 90,4%
	(-)	8 (FP)	45 (VN)	53 (N)	
		130	58	188	
Moustiques sains d'élevage	(+)	—	—	—	sp = 100%
	(-)	0 (FP)	145 (VN)	145 (N)	

^a VP = vrais positifs, FP = faux positifs.^b FN = faux négatifs, VN = vrais négatifs.^c P = moustiques infectés, N = moustiques sains.^d ss = VP × 100/P, sp = VN × 100/N.

A partir des résultats des 14 plaques étudiées, nous avons calculé la courbe moyenne des DO des dilutions successives de sporozoïtes (avec ses limites de confiance). Si nous reportons sur les courbes du 2^e et du 97^e centile le seuil de positivité de la réaction (DO=0,040), nous constatons que l'ELISA peut théoriquement détecter environ 400 sporozoïtes dans 50 microlitres, ce qui correspond à 1200 sporozoïtes/moustique. Ce chiffre est retenu comme seuil de détection minimum.

Evaluation de la sensibilité et de la spécificité

La corrélation entre les résultats d'examen parasitologiques et immunologiques pratiqués sur des moustiques moyennement ou fortement infectés et des moustiques sains permet de déterminer la sensibilité et la spécificité de l'épreuve ELISA (tableau 1).

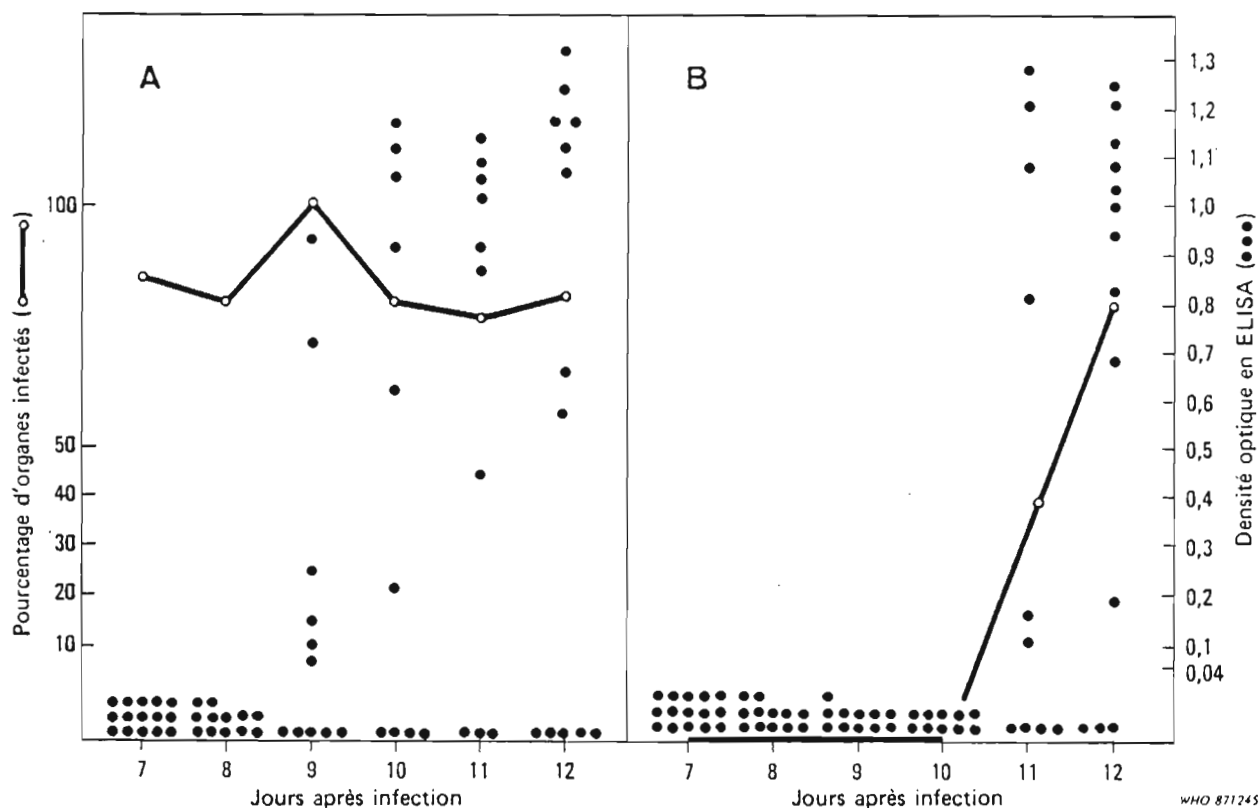
A la dissection de 326 moustiques gorgés sur des porteurs de 40 et 60 gamétocytes/mm³, nous avons trouvé 141 moustiques positifs; parmi ces derniers, 118 étaient positifs en recourant à l'ELISA. La sensibilité de la réaction est donc supérieure à 83 % pour ces moustiques moyennement infectés. De même, à la dissection de 188 moustiques gorgés sur un porteur de 1200 gamétocytes/mm³, nous avons trouvé 135 moustiques positifs, dont 122 étaient positifs en ELISA. La sensibilité de la réaction est ici de plus de 90 % pour ces moustiques hyperinfectés. L'augmentation de la gamétocytemie s'accompagne d'une augmentation significative de la proportion de moustiques parasitologiquement positifs (de 141/326 à

135/188; chi carré=37,97) et de la proportion de moustiques immunologiquement positifs (de 142/326 à 130/188; chi carré=30,32); mais la sensibilité de l'ELISA par rapport à la méthode parasitologique ne semble pas varier significativement (118/141 et 122/135; chi carré=2,16).

Les 145 moustiques sains ont été trouvés négatifs en ELISA. La spécificité est donc de 100 % au seuil précédemment déterminé. Il faut noter toutefois que, sur un total de 276 moustiques infectés, nous avons trouvé 36 «faux négatifs» en ELISA. Dans tous les cas, les glandes salivaires ont été bien recueillies dans les puits (vérification sous loupe binoculaire), mais le broyage de ces glandes dans les puits peut avoir été défectueux. Sur le total des 238 moustiques apparemment non infectés quoique gorgés sur des porteurs infectants, 32 ont été retrouvés «faux positifs» en ELISA. Il est probable que ces faux positifs correspondent en fait à des moustiques réellement infectés, mais avec des charges sporozoïtaires faibles, passées inaperçues à la dissection. En effet, pour pouvoir recueillir intégralement les glandes après leur examen au microscope, elles n'ont pas été écrasées entre lame et lamelle et certaines glandes peu infectées peuvent ainsi ne pas avoir libéré spontanément leurs sporozoïtes.

Evaluation de la valeur diagnostique de l'épreuve

Pour les moustiques moyennement infectés, la valeur prédictive du diagnostic positif (VPD+) est de

UTILISATION DE L'ELISA POUR DÉPISTER LES MOUSTIQUES INFECTÉS PAR *P. FALCIPARUM*

WHO 871245

Fig. 3. Cinétique d'apparition de l'antigène sporozoïtaire chez les moustiques infectés par *P. falciparum*, basée sur l'examen des estomacs —A— et des glandes salivaires —B— de lots de 10 à 15 moustiques par jour: 1) au microscope (○—○ pourcentage d'organes positifs); 2) en ELISA selon la densité optique (●●● nombre d'organes positifs).

83%, alors que la valeur prédictive du diagnostic négatif (VPD-) est de 100% pour les moustiques sains d'élevage; la valeur globale de l'épreuve est de 92%. Pour des moustiques hyperinfectés, la VPD+ est de 93,8% et la valeur globale de l'épreuve de 97%. L'efficacité de l'ELISA dépend donc de la relation sensibilité-spécificité.

Cinétique d'apparition des antigènes sporozoïtares

Certains estomacs de moustiques infectés (contenant des oocystes) ont été trouvés positifs en ELISA dès le 9^e jour après le repas infectant (figure 3.A), soit deux jours avant la migration des sporozoïtes dans les glandes salivaires (figure 3.B). Cela reflète l'apparition de l'antigène sporozoïtaire dès le stade oocyste mûr chez des moustiques infectés, mais pas encore infectants. Cette observation démontre donc la possibilité de faux positifs lorsque les moustiques sont testés entiers (tête-thorax-abdomen).

DISCUSSION

Le relatif manque de reproductibilité de l'ELISA relevé dans cette étude a été signalé par la plupart des auteurs utilisant cette technique dans le dépistage des anticorps antipaludéens. Des tentatives ont été faites pour améliorer la fixation de l'antigène sur le plastique en utilisant différents agents couplants (10). Le même problème se pose avec la détection des antigènes sporozoïtares. Plusieurs auteurs (14, 3) ont également signalé un manque de reproductibilité en radio-immunologie. Cependant, aucune mention de ce problème dans les mesures par l'ELISA n'est faite par Burkot (1).

Pour pallier cet inconvénient, nous proposons l'utilisation systématique d'un coefficient de correction qui nous a donné de bons résultats dans le dépistage des anticorps antipaludéens.

Le seuil de détection de notre technique a été déterminé à environ 1200 sporozoïtes/moustique.

Burkot (1) trouve une limite de détection de 300 sporozoïtes/moustique. En radio-immunologie, Collins (3) trouve un seuil oscillant entre 500 et 1000 sporozoïtes/moustique. Notre seuil, plus élevé que celui de ces auteurs, explique une moins bonne sensibilité de l'épreuve. Il faut noter toutefois que la fiabilité de la méthode de référence (dissection des glandes) utilisée pour déterminer la sensibilité de l'ELISA n'est pas parfaite. Un certain nombre de glandes faiblement infectées peuvent paraître négatives à l'objectif 10× quand elles ne sont pas écrasées entre lame et lamelle. La sensibilité de l'ELISA, basée sur cette méthode de référence, est donc sous-évaluée. Dans le cas extrême où des «faux positifs» en ELISA seraient en fait des moustiques infectés non détectés à la dissection, cette sensibilité varierait entre 86 et 91 % (tableau 1).

La sensibilité de l'ELISA varie probablement avec l'intensité de la charge sporozoïtaire, bien que la présente étude ne le démontre pas formellement. Par ailleurs, en zone d'endémie, les charges sporozoïtaires par moustique sont plus faibles que celles rencontrées habituellement dans l'infection expérimentale. On peut donc s'attendre à une diminution de la sensibilité du dépistage immunologique dans les conditions naturelles.

Pringle (9) a étudié en 1966 la distribution des densités de sporozoïtes par moustique infecté naturellement. A partir de ces données, nous avons tracé l'histogramme de fréquence des charges sporozoïtaires (non représenté dans cet article) et nous avons reporté le seuil de détection de l'ELISA (1200 sporozoïtes/moustique) sur ce tracé. La sensibilité peut être évaluée par le rapport entre la surface de l'histogramme représentant les moustiques détectés en ELISA et la surface totale de cet histogramme. La sensibilité estimée par cette nouvelle approche est de 88,8 %.

L'efficacité d'une épreuve immunologique dépend à la fois de la relation sensibilité-spécificité et de la prévalence de la maladie (6). Quelle est cette efficacité dans les conditions épidémiologiques naturelles?

L'indice sporozoïtaire, rarement supérieur à 10 %, est bien souvent inférieur à 1 % dans les zones où l'ELISA présenterait un intérêt comme moyen de dépistage. Avec une prévalence d'infection de 1 %, une spécificité de 99,9 % (au seuil de 0,040) et une sensibilité de 88 %, la VPD+ est de 89,8 %, la VPD- et la valeur globale étant l'une et l'autre de 99,8 %. La VPD+ est donc relativement décevante, en raison du manque de sensibilité de notre épreuve.

Pour augmenter la sensibilité de l'ELISA on peut théoriquement agir de trois façons différentes: soit abaisser la valeur du seuil de positivité, soit tester la totalité du broyat de moustique, soit encore augmenter le nombre de moustiques par lots (2).

L'abaissement de la DO seuil de l'épreuve diminue la spécificité sans augmenter nettement la sensibilité.

Si l'on dépose dans un puits l'intégralité de la suspension de moustique broyé, on augmente la proportion de moustique testé, le nombre de sporozoïtes dans le puits, et donc la sensibilité de la réaction.

Plusieurs moustiques peuvent être groupés dans le même puits. La probabilité qu'il y ait plus d'un moustique positif par puits augmente, et il devient alors plus facile de détecter de faibles infections cumulées. Van Druten (communication personnelle, 1986) a élaboré des abaques permettant d'estimer l'indice sporozoïtaire réel en fonction du nombre de lots de moustiques immunologiquement positifs et du nombre de moustiques par lot.

Ainsi, l'augmentation de la proportion du broyat de moustique testé et du nombre de moustiques par lot est la seule façon d'augmenter la sensibilité de l'épreuve. Cependant, le groupage des moustiques par lots fait perdre une information épidémiologique, celle de la charge sporozoïtaire par moustique infecté. En fait, comme la reproductibilité de l'ELISA n'est pas entièrement satisfaisante, la détermination de la charge sporozoïtaire par moustique risque de toute façon d'être fautive.

L'ELISA nous paraît être une épreuve fiable et efficace dans le dépistage des antigènes sporozoïtaires, à condition de ne pas en attendre de résultats quantitatifs et de ne tester que la partie tête-thorax des moustiques. La seconde partie de cet article, qui suit, présente l'application de cette technique dans une enquête longitudinale étudiant la dynamique de transmission de *P. falciparum*, en parallèle avec les données entomologiques classiques, dans une zone de faible transmission.

2) Application de l'épreuve sur le terrain

On a vu dans la première partie de cet article que l'épreuve ELISA, appliquée à des moustiques expérimentalement infectés et à des moustiques sains d'élevage, a montré une sensibilité de 83 % à 90 % environ selon la charge sporozoïtaire moyenne des moustiques positifs et une spécificité de 99,9 % au seuil de positivité choisi.

Dans les conditions naturelles, la prévalence d'infection des moustiques est bien souvent faible (7), et les charges sporozoïtaires sont inférieures à celles que l'on rencontre dans les conditions expérimentales (9). Nous avons donc étudié la fiabilité de cette technique ELISA en zone d'endémie paludéenne, en comparant les indices sporozoïtaires immunologiques (ISI) et parasitologiques (ISP).

L'étude a été faite en 1985 dans un village du sud-ouest du Burkina Faso, dans une zone rizicole. Le climat y est de type soudanien avec une saison sèche et

UTILISATION DE L'ELISA POUR DÉPISTER LES MOUSTIQUES INFECTÉS PAR *P. FALCIPARUM*

chaude de février à mai, une saison pluvieuse de juin à octobre, et une saison sèche et froide de novembre à janvier. Deux récoltes de riz ont lieu chaque année, avec une première mise en eau des rizières en février et une seconde en août. Il existe pendant presque toute l'année (sauf en saison sèche et froide) une forte densité anophélienne, mais, paradoxalement, la transmission du paludisme y est faible et transitoire (11).

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Méthodologie de l'étude parasitologique

L'étude, qui a débuté en février, s'est déroulée jusqu'en décembre. Deux captures consécutives sur l'homme ont été organisées, tous les quinze jours, la

nuit, à l'intérieur de différentes maisons du village. Tous les moustiques recueillis ont été identifiés, mais nous n'avons conservé que les anophèles, principaux vecteurs du paludisme dans cette région (11). Les femelles ont été séparées aléatoirement en deux lots égaux. Celles du premier lot ont été immédiatement disséquées afin d'examiner les glandes salivaires et les ovaires. Nous avons calculé l'indice sporozoïtaire à partir des glandes non écrasées entre lame et lamelle, par lecture microscopique avec un objectif 10×. Le pourcentage de femelles pares a été déterminé à partir des ovaires selon la technique de Detinova (5). Le deuxième lot de moustiques a été séché sous vide et conservé en sachets scellés à 4 °C pendant 1 à 9 mois; les moustiques de ce lot ont ensuite été testés en ELISA.

Tableau 2. Comparaison des indices sporozoïtaires parasitologiques et immunologiques

Dates des captures	Indices parasitologiques		Indices immunologiques ^a		Différence ^b
	nombres	%	nombres	%	
<i>1^{re} période: moustiques entiers (tête-thorax-abdomen)</i>					
12-13.2	0/249	0			
12-13.3	0/89	0			
26-27.3	0/362	0			
9-10.4	0/125	0			
23-24.4	0/264	0			
7-8.5	0/179	0			
21-22.5	1 + /391	0,25			
4-5.6	1 + /178	0,56			
17-18.6	1 + /125	0,80	7 + /123	5,69	s.
2-3.7	3 + /483	0,62	5 + /183	2,73	s.
16-17.7	1 + /481	0,21	13 + /439	2,96	s.
30-31.7	0/446	0	3 + /408	0,73	n.s.
12-13.8	0/515	0	0/417	0	n.s.
28-29.8	0/620	0	3 + /546	0,54	n.s.
10-11.9	0/573	0	0/336	0	n.s.
24-25.9	0/521	0	0/572	0	n.s.
<i>2^e période: tête-thorax seulement</i>					
8-9.10	1 + /390	0,25	1 + /340	0,29	n.s.
22-23.10	1 + /454	0,22	8 + /395	2,02	s.
5-6.11	2 + /239	0,83	4 + /275	1,45	n.s.
19-20.11	3 + /174	1,72	3 + /1000	1,66	n.s.
3-4.12	3 + /80	3,75	3 + /63	4,76	n.s.
17-18.12	0/15	0			
30-31.12	0/13	0			

^a Seuil de la DO = 0,040.^b Test des probabilités exactes de Fischer (signification à 5%): s. = significative, n.s. = non significative.

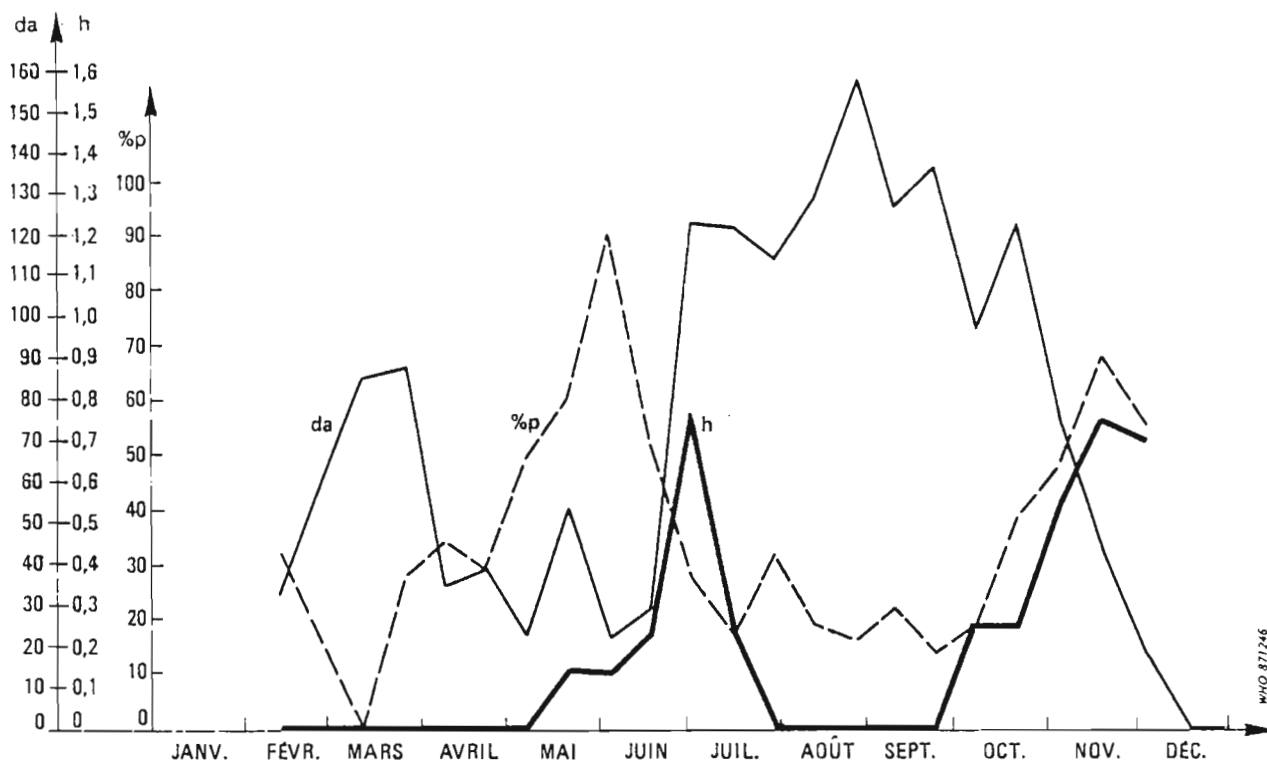


Fig. 4. Dynamique de la transmission de *P. falciparum*, estimée par la densité anophélienne (da ———), le pourcentage de femelles pares (%p — — —), et le taux d'inoculation entomologique (h —————) pendant l'année 1985.

Méthodologie de l'étude immunologique

La technique utilisée a été mise au point par l'équipe du professeur Meuwissen (13). Nous avons précédemment déterminé le seuil de positivité de la réaction (voir p. 89), qui est de $DO=0,040$.

Les moustiques ont été groupés par lots de 3 et testés en double sur la même plaque ELISA. Compte tenu du faible indice sporozoïtaire obtenu à la dissection, nous avons postulé qu'un lot positif en ELISA ne contenait vraisemblablement qu'un seul moustique infecté. De juin à septembre, l'ISI a été déterminé à partir de moustiques broyés entiers. L'observation d'une certaine discordance entre l'immunologie et la parasitologie nous a conduits à modifier le protocole après quatre mois d'expérimentation. D'octobre à décembre, l'ISI a été déterminé uniquement à partir des têtes et thorax des moustiques, et un indice oocystique immunologique a été estimé séparément à partir des abdomens des mêmes moustiques.

Pendant toute la série de manipulations, nous avons utilisé le même témoin positif (lot de 100 moustiques

expérimentalement infectés, broyés et distribués en aliquotes congelées) et le même témoin négatif (distribué aussi en aliquotes). Les résultats de chaque plaque ont été réévalués en fonction d'un coefficient de correction (K) qui dépend de la valeur du témoin de référence (voir p. 88), ce qui nous a permis de conserver, tout au long de l'étude, une reproductibilité satisfaisante.

Tests statistiques

La comparaison entre les indices sporozoïtaires immunologiques et parasitologiques obtenus après chaque capture a été faite à l'aide du test des probabilités exactes de Fischer (12).

RÉSULTATS

Résultats parasitologiques

Les 23 captures de nuit organisées de la mi-février à la fin décembre aux fins de l'étude parasitologique

UTILISATION DE L'ELISA POUR DÉPISTER LES MOUSTIQUES INFECTÉS PAR *P. FALCIPARUM*

ont permis l'examen de 6966 anophèles. Parmi les dix espèces de ces moustiques rencontrées dans la région, trois sont potentiellement vectrices: *Anopheles gambiae*, *A. funestus* et *A. nili*. Les résultats de l'étude sont présentés dans le tableau 2 et la figure 4.

La densité anophélienne estimée par les captures sur l'homme oscille entre 0 et 160 piqûres par homme et par nuit (P/H/N).

Le taux d'inoculation entomologique (h) oscille entre 0 et 0,75 piqûre infectée par homme et par nuit (Pi/H/N). *A. gambiae* est le principal vecteur dans cette zone. La transmission débute en mai, se prolonge en juin-juillet, devient négligeable en août-septembre, puis reprend en octobre pour diminuer de nouveau jusqu'en décembre; il existe donc deux pics de transmission.

Le pourcentage de femelles pares chez *A. gambiae* oscille entre 0% et 90%. Minimum en mars, il atteint un premier maximum (90%) en mai-juin, un peu avant le premier pic de transmission de juin-juillet, puis tombe à 25% pendant la saison des pluies (juillet-septembre) alors que la densité anophélienne est maximale et que la transmission est faible ou nulle; il croît à nouveau en novembre, alors que la densité commence à baisser et que se dessine le second pic de transmission. Cette concordance entre le pourcentage

en question (qui reflète la longévité du vecteur) et la transmission est un phénomène classique (7). En effet, le moustique doit survivre assez longtemps (12-13 jours environ) pour que le cycle sporogonique du parasite puisse se réaliser.

Résultats immunologiques

L'étude immunologique a débuté en juin 1985; 5097 anophèles ont été testés en ELISA. Les résultats en sont présentés dans le tableau 2 et la figure 5. Nous remarquons que l'ISI suit la même évolution bimodale que l'ISP. Il est maximum fin juin, nul ou très faible en août-septembre, puis à nouveau maximum en décembre.

Pendant la première période d'étude (moustiques testés en entier), nous remarquons que l'ISI est constamment supérieur à l'ISP. L'écart entre ces deux indices est d'autant plus grand que la prévalence de l'infection est forte et que le pourcentage de femelles pares, donc la survie du moustique, est élevé. Sur les cinq valeurs positives de l'ISI, trois sont significativement différentes de l'ISP correspondant.

Pendant la deuxième période (tête et thorax séparés

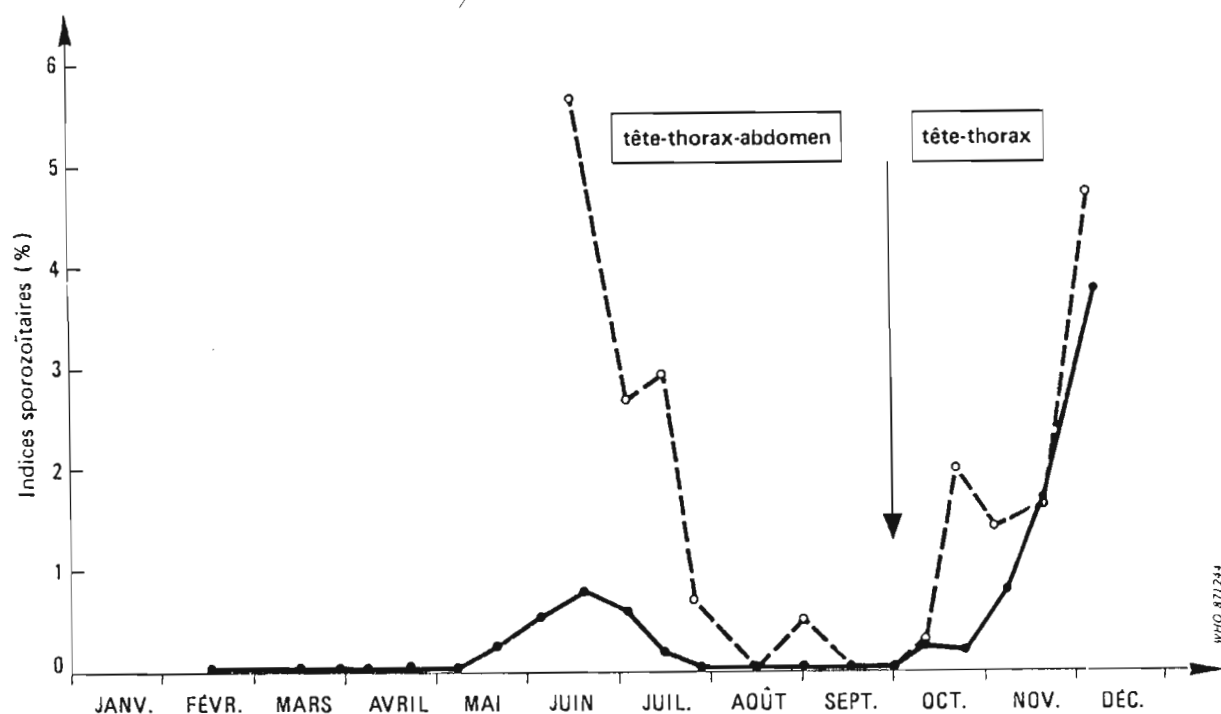


Fig. 5. Comparaison des indices sporozoitaires parasitologique (ISP — — —) et immunologique (ISI — — —); l'ISP est obtenu par dissection des glandes salivaires de la moitié des moustiques capturés, l'ISI par l'ELISA (seuil DO = 0,040) sur l'autre moitié de ces moustiques.

de l'abdomen), nous remarquons que les valeurs de l'ISI sont beaucoup plus proches des valeurs de l'ISP, sauf en ce qui concerne la capture du 22-23 octobre. Sur les cinq valeurs positives de l'ISI, seule celle établie pour cette capture est significativement différente de l'ISP correspondant.

L'indice oocystique immunologique (qui estime la prévalence des oocystes mûrs contenant des sporozoïtes immunologiquement différenciés) est nul en octobre, égal à 0,3% et 1,1% en novembre, puis à nouveau nul en décembre.

DISCUSSION

Divers auteurs (13, 1, 14) ont démontré la possibilité de faux positifs en radio-immunologie ou en enzymo-immunologie, lorsque des moustiques expérimentalement infectés par des oocystes des 9^e et 10^e jours étaient testés avec l'anticorps monoclonal ant sporozoïtaire 3 spz. A ce moment l'antigène sporozoïtaire commence à apparaître dans ces oocystes mûrs. Au cours d'une enquête transversale en Gambie, utilisant le même type d'anticorps monoclonal, une technique radio-immunologique et des moustiques broyés entiers, Collins (4) a trouvé une prévalence immunologique des sporozoïtes plus élevée que la prévalence parasitologique. Pour expliquer cette discordance, il a émis l'hypothèse qu'un certain nombre de moustiques testés étaient infectés par des oocystes mûrs, mais pas encore infectants (pas de sporozoïtes dans les glandes salivaires).

Cette hypothèse pourrait s'appliquer à certaines des discordances que nous avons observées pendant la première période d'étude entre l'ISI et l'ISP. En effet, ces discordances s'estompent lorsque les têtes et thorax des moustiques sont testés séparément des abdomens; et d'autre part, les écarts observés entre l'immunologie et la parasitologie deviennent plus faibles quand les pourcentages de femelles paires, et donc la survie du moustique, sont faibles (figure 4). Lorsque les moustiques ont une survie moyenne inférieure à 9 jours, les chances de trouver des porteurs d'oocystes mûrs sont très faibles et la probabilité d'avoir des faux positifs immunologiques est négligeable. Il nous semble donc important, lors des

enquêtes épidémiologiques utilisant une épreuve immunologique pour le dépistage des moustiques porteurs de sporozoïtes, de séparer les tête et thorax de l'abdomen de chaque moustique testé.

Toutefois, il faut remarquer que la prévalence des oocystes mûrs était relativement faible durant la deuxième période d'étude (0% en octobre, 0,3 et 1,1% en novembre, puis 0% en décembre); ces valeurs nous paraissent trop faibles pour expliquer l'importance des écarts observés entre l'immunologie et la parasitologie pendant la première période, et d'autres facteurs interviennent probablement.

Ainsi, l'examen des glandes salivaires se faisant sans écrasement préalable et avec un objectif 10×, certaines glandes peu infectées peuvent ne pas éclater spontanément lors de la dissection et être alors considérées comme négatives, même par un examinateur entraîné. Dans ces conditions, l'ISP est probablement sous-estimé.

D'autre part, nous remarquons que les plus fortes discordances entre les deux méthodes de détection sont enregistrées quand les échantillons sont les plus petits (tableau 2). Pour d'aussi faibles prévalences d'infection, les variations dues aux fluctuations dans l'échantillonnage deviennent d'autant plus importantes que les échantillons sont de petite taille. Le petit nombre (relatif) de moustiques testés peut expliquer, en partie, les écarts observés entre l'ISI et l'ISP.

Enfin, le manque relatif de reproductibilité de l'ELISA (voir p. 88) peut aussi expliquer certaines discordances. En effet, quelques moustiques faiblement positifs une première fois peuvent être trouvés négatifs lors d'une deuxième épreuve; s'il s'agit de moustiques faux positifs, ils peuvent contribuer à renforcer les écarts observés entre l'ISI et l'ISP. Il paraît donc important de tester à nouveau les moustiques faiblement positifs.

En conclusion, l'ELISA est une technique qui semble spécifique pour le dépistage immunologique des moustiques infectés lorsqu'on prend soin d'enlever les abdomens des moustiques testés. Sa sensibilité est difficile à évaluer, compte tenu du fait que l'examen parasitologique de référence est lui-même imparfait dans notre étude. Des enquêtes complémentaires, dans d'autres situations épidémiologiques, sont nécessaires avant qu'on puisse affirmer la fiabilité de cette technique pour le dépistage de masse.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé avec la collaboration de l'antenne ORSTOM du Centre Muraz de l'Organisation de Coordination et de Coopération pour la Lutte contre les Grandes Endémies, à Bobo-Dioulasso (Burkina Faso), et du Département de parasitologie de la Faculté de Médecine de l'Université catholique de Nimègue (Pays-Bas). Il a bénéficié d'une aide financière du programme spécial PNUD/Banque mondiale/OMS de recherche et de formation concernant les maladies tropicales.

UTILISATION DE L'ELISA POUR DÉPISTER LES MOUSTIQUES INFECTÉS PAR *P. FALCIPARUM*

SUMMARY

DETECTION OF MOSQUITOS INFECTED WITH *PLASMODIUM FALCIPARUM* USING THE ELISA TEST

The feasibility and efficiency of the enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) for the detection of *P. falciparum*-infected mosquitos were studied. The relative lack of reproducibility of the test may be compensated for by the application of a correction factor that is based on the mean optical density (OD) of a positive reference sample. The corrected OD of every plate permits comparison between plates and between surveys. The critical value of positivity in the reaction is determined by using the distribution of optical densities in negative mosquitos; this value is chosen in such a way that 99.9% of the non-infected mosquitos have an OD below it (specificity=99.9%).

The sensitivity is determined by using a population of mosquitos experimentally infected and found positive by dissection of the salivary glands. This sensitivity, which varies with respect to the average yield of sporozoites in infected mosquitos, lies between 83% and 90%. The level of detection with the ELISA is fixed at a minimum of 1200 sporozoites per mosquito. The study investigated the variations in sensitivity and specificity and the efficiency of the test with respect to the transmission, the choice of the critical level of positivity, and the pooling of mosquitos.

The efficiency of the test in the field was investigated in a longitudinal study of the dynamics of *P. falciparum* transmission in south-west Burkina Faso in 1985. The immuno-

logical sporozoite index (ISI) followed the same course of development as the parasitological sporozoite index (ISP) and was at its peak when the dissection showed a maximum prevalence; it was zero when the dissection revealed no sporozoite-positive gland whatsoever. In the first part of this study, intact field-caught mosquitos were tested in the ELISA. The ISI always gave higher percentages than the ISP when the latter was positive. On the other hand, the ISI was zero when the ISP was also zero, which indicates excellent specificity of the immunological test. In the second part, the mosquitos were tested in the ELISA after removal of the abdomen. Under these conditions the ISI was very similar to the ISP. The authors consider the differences observed between ISI and ISP in the first part to be partly due to the detection in some mosquitos of maturing oocysts containing sporozoite antigen. These are necessarily false positives, but the immunological index of mature oocysts is too small to explain the importance of the discrepancy on its own.

The authors discuss the possibility of an underevaluation of the parasitological results and stress the importance of the size of the samples for a more precise immunological prevalence. It therefore seems that the ELISA is a specific technique whose sensitivity at least matches that of dissection.

BIBLIOGRAPHIE

- BURKOT, T. R. ET AL. Identification of malaria infected mosquitoes by a two-site enzyme-linked immunosorbent assay. *American journal of tropical medicine and hygiene*, 33: 227-231 (1984).
- CHIANG, C. L. & REEVES, W. C. Statistical estimation of virus infection rates in mosquito vector populations. *American journal of hygiene*, 75: 377-384 (1962).
- COLLINS, F. H. ET AL. Laboratory assessment of a species-specific radio-immunoassay for the detection of malaria sporozoites in mosquitoes (Diptera: Culicidae). *Journal of medical entomology*, 22: 121-129 (1985).
- COLLINS, F. H. ET AL. First field trial of an immunoradiometric assay for the detection of malaria sporozoites in mosquitoes. *American journal of tropical medicine and hygiene*, 33: 538-543 (1984).
- DETINOVA, T. S. *Méthodes à appliquer pour classer par groupes d'âge les diptères présentant une importance médicale, notamment certains vecteurs du paludisme*. Genève, Organisation mondiale de la Santé, 1963 (Série de Monographies, N° 47).
- JENICEK, M. & CLÉROUX, R. *Epidémiologie: principes, techniques, applications*. Paris, Maloine, 1982, pp. 27-31.
- MACDONALD, G. *The epidemiology and control of malaria*. Londres, Oxford University Press, 1957.
- NARDIN, E. H. ET AL. Circumsporozoite proteins of human malaria parasites *P. falciparum* and *P. vivax*. *Journal of experimental medicine*, 156: 20-30 (1982).
- PRINGLE, G. A quantitative study of naturally-acquired malaria infections in *A. gambiae* and *A. funestus* in a highly malarious area of East Africa. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 60: 626-632 (1966).
- REICHLIN, M. Use of glutaraldehyde as a coupling agent for protein. In: *Methods in enzymology*, Vol. 70, Londres, Academic Press, 1980, pp. 159-166.
- ROBERT, V. ET AL. La transmission du paludisme en zone de savane arborée et en zone rizicole des environs de Bobo-Dioulasso (Burkina Faso). *Annales de la Société belge de Médecine tropicale*, 65 (Supplément 2): 201-214 (1985).
- SCHWARTZ, D. *Méthodes statistiques à l'usage des médecins et des biologistes*. Paris, Flammarion Médecine-Sciences, 3^e éd., 9^e tirage 1986.
- VERHAVE, J. P. ET AL. The biotin-streptavidin system in a two-site ELISA for the detection of sporozoite antigen in mosquitoes. In: *Proceedings of the International Symposium on Malaria, Rio de Janeiro, 16-25 February 1986*.
- ZAVALA, F. ET AL. Monoclonal antibodies to circumsporozoite proteins identify the species of malaria parasite in infected mosquitoes. *Nature*, 299: 737-738 (1982).

Réceptivité à *Plasmodium falciparum*
d'*Anopheles gambiae* soumis à
Bacillus thuringiensis sérotype H 14
ou à *Bacillus sphaericus*

Vincent ROBERT⁽¹⁾, Michel BOUSSINESQ⁽¹⁾,
Christian BOUDIN⁽¹⁾, Hervé CONAN⁽²⁾,
Frédéric DARRIET⁽¹⁾, Pierre CARNEVALE⁽¹⁾

Résumé

Des doses de *Bacillus thuringiensis* sérotype H 14-Tecknar® ou de *Bacillus sphaericus* souche 2297 sont utilisées sur des jeunes larves au quatrième stade d'*Anopheles gambiae* s.s.

Quelle que soit la dose utilisée et le temps de contact avec *B. sphaericus*, les larves survivantes donnent des adultes dont la réceptivité à *Plasmodium falciparum* n'est pas affectée.

Avec *B. thuringiensis*, un contact de moins de 24 heures réduit l'indice oocystique de 10 % par rapport au témoin. Avec un contact de plus de 24 heures cet indice est réduit de 15 %. Cette réduction de l'indice oocystique est accompagnée d'une réduction du nombre moyen d'oocystes par estomac positif.

Mots-clés : Insecticide — Dose sublétales — Réceptivité — *Plasmodium falciparum* — *Anopheles gambiae* — *Bacillus thuringiensis* H 14 — *Bacillus sphaericus*.

Summary

RECEPTIVITY TO *PLASMODIUM FALCIPARUM* OF *ANOPHELES GAMBIAE* TREATED AS LARVAE BY *BACILLUS THURINGIENSIS* SEROTYPE H 14 AND *BACILLUS SPHAERICUS*. Adults of *Anopheles gambiae* s.s. that had previously been in contact with *Bacillus thuringiensis* H 14 Tecknar® or *Bacillus sphaericus* strain 2297 in their fourth larval stage, were fed on human blood naturally infected with *Plasmodium falciparum* gametocytes.

With *B. sphaericus* there was no modification of the receptivity in comparison with the controls.

With *B. thuringiensis* there was a reduction of 10 % of the oocystic index in the batches treated less than 24 hours and a reduction of 15 % in the batches treated more than 24 hours. In the same way a tendency was observed towards the reduction of the oocystes mean number per positive stomach.

The interest of these results is discussed from an epidemiological point of view.

Key words : Insecticide — Sublethal dose — Receptivity — *Plasmodium falciparum* — *Anopheles gambiae* — *Bacillus thuringiensis* H 14 — *Bacillus sphaericus*.

(1) Antenne ORSTOM auprès de l'O.C.C.G.E., Centre Muraz, B.P. 171, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso.

(2) Ingénieur sanitaire — Boursier OMS, DASS, B.P. 104, Mamoudzou, 97600 Mayotte, France.

Introduction

De nombreux travaux intéressent l'effet létal des insecticides sur une population d'insecte, en agissant soit sur son effectif (effet immédiat), soit sur son espérance de vie (effet retardé).

D'autres travaux, souvent récents, recherchent l'effet que pourraient avoir certains de ces insecticides sur la modification de la réceptivité aux parasites vecteurs soumis à des doses sublétales. En particulier Mohan (1955), Rifaat *et al.* (1974), Prasittisuk et Curtis (1982) et Zharova et Rasnitsyn (1984) n'observent pas d'effet du DDT, du téméphos, du carbaryl, du pyrimphos-méthyl et du malathion sur la réceptivité des anophèles au *Plasmodium*. Par contre Sucharit *et al.* (1984) attribuent un effet inhibiteur de la réceptivité d'*Anopheles dirus* à *Plasmodium falciparum* avec un chimio-stérilisant, le bisazir. De même, Elissa *et al.* (1986) avec la deltaméthrine et Noireau et Karch (1983) avec *Bacillus thuringiensis* sérotype H 14 et *Bacillus sphaericus* observent un effet inhibiteur sur la réceptivité du couple *Anopheles stephensi/Plasmodium yoelii yoelii*.

L'utilisation de *B. thuringiensis* s'est avérée décevante contre *Anopheles gambiae* dans les conditions naturelles (Hougard *et al.* 1983). Dans le présent travail nous recherchons alors un éventuel effet de *B. thuringiensis* H 14 et de *B. sphaericus* sur la modification des rapports vecteur-parasite d'un des couples les plus redoutables en matière de paludisme humain : *Anopheles gambiae/Plasmodium falciparum*.

Les expériences rapportées ont été effectuées entre décembre 1985 et mai 1986.

Matériel et méthodes

LES ANOPHÈLES

Ce sont des *Anopheles gambiae* s.s. forme chromosomique Mopti avec une forte prévalence de l'inversion *bc* (Petrarca et Coluzzi, com. per.). Cette souche d'insectarium provient de la rizière de la Vallée du Kou, située à 30 km au nord de Bobo-Dioulasso (Burkina Faso). Des individus sauvages sont réintroduits dans l'élevage chaque année.

Des larves jeunes au quatrième stade sont aléatoirement réparties par lots d'à peu près 700 individus dans des plateaux d'élevage. Certains lots sont mis en contact avec l'insecticide ; d'autres servent de témoins.

Les nymphes provenant des larves survivantes sont introduites dans des cages d'élevage maintenues en insectarium à 27° C, 80 % d'humidité relative avec une photopériode de 12 heures de jour par 24 heures. Ces

cages contiennent du jus sucré sous forme de solution glucosée à 10 %.

Un lapin est placé sur les cages le lendemain des dernières émergences pour que les femelles prennent une alimentation sanguine avant le repas infectant.

LES LARVICIDES

On a utilisé le *B. thuringiensis* sérotype H 14 Teknar® et le *B. sphaericus* souche 2297 formulation SPH 84. Pour les deux insecticides une solution mère à 100 mg/l a été préparée pour obtenir la concentration finale souhaitée.

LE TRAITEMENT DES ANOPHÈLES AUX INSECTICIDES

La concentration et le temps de contact de l'insecticide ont été choisis pour que les moustiques survivants aient été effectivement en contact avec l'insecticide et aient ingérés des particules actives. Le manque de reproductibilité des effets des formulations employées sur le taux de mortalité larvaire contraint de choisir des doses différentes d'insecticide pour chaque série expérimentale et parfois de modifier ces doses en cours de traitement.

Les quelques nymphes apparues dans les 24 heures suivant le début du contact avec l'insecticide sont éliminées. On recueille les nymphes des trois ou quatre jours suivants.

Pour chaque série expérimentale la mortalité est déterminée en dénombrant les nymphes survivantes dans les lots traités et le lot témoin ; elle est exprimée par le rapport des nymphes survivantes traitées/ témoins. Comme il existe un délai entre la nymphose et le recueil des nymphes cette mortalité observée concerne la mortalité larvaire plus la mortalité nymphale dans les plateaux d'élevage.

Certaines séries subissent un traitement « court » avec un contact unique de moins de 24 heures avec l'insecticide ; d'autres subissent un traitement « prolongé » pendant plus de 24 heures, à des concentrations souvent croissantes (tableau I).

LES PARASITES

Il s'agit de *Plasmodium falciparum* prélevés chez des enfants de la région de Bobo-Dioulasso (de trois à dix ans) naturellement impaludés.

Le choix de l'enfant se fait sur des sujets dont la gamétocythémie est supérieure à 50 gamétocytes par mm³ de sang (tableau I), qui autorise une infection réussie chez plus de 30 % des moustiques (Lusetti-Lyannaz, 1985). Les sujets porteurs de gamétocytes d'une autre espèce que *P. falciparum* sont éliminés.

Réceptivité à *P. falciparum* d'*A. gambiae* soumis à *B. thuringiensis* ou à *B. sphaericus*

TABLEAU I

Détails du protocole des traitements pour les huit séries expérimentales

N° série expérimentale	Traitement	Concentration utilisée en mg/l	Durée de contact	Dose létale observée	Nombre de gamétocytes par mm ³ de sang	
1	a	0,75	0-24h	?	1000	
		1,5	24-36h			
		1,5	36-48h			
		2,2	48-72h			
	b	0,003	0-24h	?		
		0,006	24-36h			
		0,006	36-48h			
		0,009	48-72h			
2	a	0,75	0-24h	?	350	
		1,5	24-36h			
		1,5	36-48h			
		2,2	48-60h			
	b	6	60-72h	?		
		0,003	0-24h			
		0,006	24-36h			
		0,006	36-48h			
		0,009	48-60h			
		0,024	60-72h			
3	B.t. prolongé	1,6 2,0	0-24h 24-60h	33	100	
4	a	B.t. court	2,5	0-12h	82	75
	b	B.s. prolongé	0,020 0,025 0,035	0-20h 20-32h 32-44h	23	
5	a	B.t. court	2	0-12h	65	75
	b	B.s. court	0,05	0-12h	87	
6		B.t. court	1,8	0-24h	44	200
7	a	B.s. court	0,030	0-24h	53	100
	b	B.s. court	0,035	0-24h	72	
8	a	B.t. court	2,0	0-3h	21	100
	b	B.t. prolongé	1,4 1,2 1,0	0-24h 24-48h 48-72h	88	

L'INFECTION DES ANOPHÈLES

Le sang veineux est prélevé dans un vacutainer[®] hépariné. Il est maintenu à 37° et ramené au plus vite, en moins d'une heure, à notre insectarium. Le sang est aussitôt distribué dans des cellules en verre où circule de l'eau maintenue à 37°. Ces cellules sont installées sur les cages de lot témoin et les cages de lots traités

contenant des moustiques âgés de trois jours après le repas sur lapin. Les anophèles femelles se gorgent à travers une membrane artificielle de Parafilm[®] légèrement tendue selon la technique de Rutledge *et al.* (1964). La plupart des femelles sont déjà gorgées après 15 minutes ; le repas de sang infecté dure au maximum 30 minutes. Après ce délai les femelles non gorgées sont éliminées.

Neuf ou dix jours après le gorgement, chaque femelle est individuellement disséquée. Par observation microscopique au grossissement 100 on note la présence et le nombre d'oocystes sur la paroi externe de l'estomac frais, non coloré.

Résultats

Au total 689 moustiques sont disséqués dans les séries expérimentales témoins, 525 dans les six séries

traitées par *B. sphaericus* et 519 dans les huit séries traitées par *B. thuringiensis* (tabl. II).

B. SPHAERICUS

Indice oocystique : il semble légèrement supérieur dans le lot traité (62 % contre 58 %), mais la différence n'est pas significative au risque 5 % (tabl. II).

Nombre d'oocystes par estomac positif : cinq des six séries expérimentales ne présentent pas de variations significa-

TABEAU II

Analyse comparative des indices oocystiques pour les séries traitées et témoins. Le traitement est court ou prolongé s'il dure moins ou plus de 24 heures. Les totaux dans la série témoin ne compréhendent qu'une seule fois chaque série expérimentale (série 1 à 8)

	T R A I T E				T E M O I N				Différence entre indice oocystique traité-témoin en %	p
	Traitement N° série expérimentale	Nb estomacs disséqués	Nb estomacs positifs	Indice oocys- tique en %	N° série expérimentale	Nb estomacs disséqués	Nb estomacs positifs	Indice oocys- tique en %		
<i>Bacillus sphaericus</i>	court									
	5b	22	11	50	5	62	27	44	+6	NS
	7a	82	59	72	7	128	93	73	-1	NS
	7b	67	51	76					+3	NS
	Tot	171	121	70.8	Tot	190	120	63.1	+7.7	NS
	prolongé									
	1b	82	66	80	1	52	38	73	+7	NS
	2b	92	38	41	2	54	17	31	+10	NS
	4b	180	102	57	4	148	84	57	0	NS
	Tot	354	206	58.2	Tot	254	139	54.7	+3.5	NS
	Total	525	327	62.3		444	259	58.3	+4	NS
<i>Bacillus thuringiensis</i>	court									
	4a	74	43	58	4	148	84	57	+1	NS
	5a	47	27	57	5	62	27	44	+13	NS
	6	137	44	32	6	69	24	35	-3	NS
	8a	62	22	35	8	78	52	67	-32	<0.001
	Tot	320	136	42.5	Tot	357	187	52.4	-9.9	<0.02
	prolongé									
	1a	45	27	60	1	52	38	73	-13	NS
	2a	37	4	11	2	54	17	31	-20	<0.05
	3	90	56	62	3	98	76	78	-11	<0.05
	8b	27	12	44	8	78	52	67	-23	<0.05
	Tot	199	99	49.7	Tot	282	183	64.9	-15.2	<0.001
	Total	519	235	45.3		561	318	56.7	-14.4	<0.001
Total		1044	562	-		689*	411*	59.6		

Réceptivité à *P. falciparum* d'*A. gambiae* soumis à *B. thuringiensis* ou à *B. sphaericus*

rives entre les lots traités et témoins. Dans la série 2b on observe un accroissement significatif ($p < 0,01$) dans le lot traité par rapport au lot témoin (+ 62 %).

B. THURINGIENSIS

Indice oocystique : il est significativement réduit de 10 % dans le lot traité (42 % contre 52 %) lorsque le contact avec l'insecticide dure moins de 24 heures. Il est significativement réduit de 15 % dans le lot traité (50 % contre 65 %) lorsque le contact avec l'insecticide dure plus de 24 heures (tabl. II).

Nombre d'oocystes par estomac positif

Dans les quatre séries expérimentales présentant une réduction significative de l'indice oocystique, il est nettement réduit d'un facteur 1,2 à 5,3 fois (tabl. III).

Dans les quatre séries expérimentales ne présentant pas de réduction significative de l'indice oocystique :

- deux ne présentent pas de variation significative de ce paramètre (3,2 oocystes par estomac positif dans le lot témoin et 3,0 dans le lot traité, série 4a et respectivement 1,6 et 2,0, série 6) ;
- deux présentent une augmentation significative ($p < 0,05$) de ce paramètre dans les lots traités (respectivement 9,4 et 16,1, série 1a ; 1,4 et 2,1, série 5a).

Discussion

Aux doses employées, *B. sphaericus* ne possède pas d'effet inhibiteur de la réceptivité d'*An. gambiae* à *P. falciparum*. Il n'est pas exclu qu'un très léger effet facilitant existe, mais il n'a pas été mis en évidence de façon significative ; de toute façon, il serait très faible.

Par contre *B. thuringiensis* paraît posséder un effet inhibiteur sur la réceptivité d'*An. gambiae* à *P. falciparum*. Cet effet est faible ; il n'est bien marqué que lorsque le contact avec l'insecticide est prolongé et lorsque la concentration est importante. C'est pourquoi l'intérêt épidémiologique de cette action, du moins dans la lutte antipaludique, est extrêmement limité. Une étude similaire à la nôtre, menée jusqu'au stade sporozoïte, modifierait peut-être ces conclusions.

Le mode d'action de *B. thuringiensis* à l'origine de cet effet inhibiteur de la réceptivité reste inconnu. On peut concevoir que l'action spécifique des toxines sur des cellules épithéliales du mésentéron de la larve (Charles et de Barjac, 1981) occasionnerait des lésions durables qui persisteraient sur la paroi stomacale de l'adulte, perturbant la pénétration de cette paroi par les ookinètes de plasmodiums. À l'inverse, on peut supposer que ce puissant insecticide occasionne un stress général et durable, qui diminuerait de façon non spécifique l'ensemble des aptitudes du vecteur, en

TABLEAU III

Nombre d'oocystes et analyse comparative du nombre moyen d'oocystes par estomac positif pour les séries expérimentales à indice oocystique réduit par un traitement avec *Bacillus thuringiensis* H 14

N° série expérimentale	Traitement	Nombre d'oocystes par estomac																Nombre total			Nombre moyen d'oocyste/estomac positif	Rapport entre nombre moyen d'oocyste par estomac positif témoin/traité
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	15	17	de moustiques disséqués	positifs	d' oocystes		
2	témoin	37	4	3	1	3					2	1	1	1	1			54	17	90	5,3	
2a	prolongé	33	4															37	4	4	1,0	5,3 < 0,001
3	témoin	22	9	14	14	10	8	4	4	3	2	2	2		2	1	1	98	76	355	3,7	
	prolongé	34	17	16	3	5	5	4	3	1	1			1				90	56	177	3,2	1,5 < 0,01
8	témoin	26	10	14	7	6	6	1	5	1					2			78	52	184	3,5	
8a	court	40	12	5	3					1								62	22	41	1,9	1,8 NS
8b	prolongé	15	5	2	1	3						1						27	12	34	2,8	1,2 < 0,01

particulier l'alimentation sanguine ; le repas de sang serait donc moins important chez les adultes issus de larves traitées. Nous avons observé en cours d'expérimentation une surmortalité des nymphes et une surmortalité à l'émergence dans les lots traités par rapport aux lots témoins. Il est probable que la fragilisation de l'insecte traité se poursuive jusqu'à l'âge adulte et que ce phénomène se concrétise notamment par une réduction de la longévité du moustique.

De surcroît, dans les conditions naturelles, les pressions sélectives (compétition intra et inter-spé-

cifique) sont très fortes. Ces pressions s'exercent particulièrement sur les individus affaiblis par une dose sub létale d'insecticide et entraînent le plus souvent l'élimination de ces dernières. Ainsi, les larves qui reçoivent dans la nature une forte dose sub létale d'insecticide sont susceptibles de développer une réduction de leur réceptivité au stade imaginal, mais leur espérance de vie serait très réduite et la plus grande partie de ces larves n'atteindrait pas le stade adulte.

Manuscrit accepté par le Comité de Rédaction le 19 mars 1987.

BIBLIOGRAPHIE

- CHARLES (J. F.) et BARJAC (H. de), 1981. — Histopathologie de l'action de la δ endotoxine de *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* sur les larves d'*Aedes aegypti* (Dipt. : Culicidae). *Entomophaga*, 26, 2 : 203-212.
- ELISSA (N.), SANNIER (CH.) et RICHARD (A.), 1986. — Étude de la réceptivité à *Plasmodium falciparum* d'anophèles soumis à des doses sublétales d'un insecticide pyréthroïde. Communication au 4^{ème} Congrès sur la protection de la santé humaine et des cultures en milieu tropical, Marseille, France, 2-4 juillet 1986 : 599-604.
- HOUARD (J. M.), DARRIET (F.) et BAKAYOKO (S.), 1983. — Évaluation en milieu naturel de l'activité larvicide de *Bacillus thuringiensis* sérotype H 14 sur *Culex quinquefasciatus* et *Anopheles gambiae* en Afrique de l'Ouest. *Cah. ORSTOM, sér. Ent. méd. et Parasitol.*, 21, 2 : 111-117.
- LUSETTI-LYANNAZ (J.), 1985. — Les sporozoïtes de *Plasmodium falciparum*. Obtention par infections artificielles d'*Anopheles gambiae* s.s. et utilisation comme antigène en immunofluorescence. Thèse de pharmacie, Université de Grenoble, 30 septembre 1985.
- MOHAN (B. N.), 1955. — Sporogonic cycle of malaria parasites in resistant and non-resistant strains of mosquitoes after exposure to DDT. *Indian J. Malaria*, 9 : 287.
- MOREAU (F.) et KARCH (S.), 1983. — Réceptivité à *P. y. yoelii* d'anophèles soumis à *B. thuringiensis* sérotype H 14 et *Bacillus sphaericus*. *Cah. ORSTOM, sér. Ent. méd. et Parasitol.*, 21, 4 : 221-224.
- PRASITTISUK (C.) et CURTIS (C. F.), 1982. — Absence of effects of insecticides on susceptibility of Anophelines to *Plasmodium yoelii*. *J. Trop. Med. Pub. Hlth.*, 13, 1 : 127-132.
- RIFAAT (M. A.), KHALIL (H. M.), GAD (A. M.) et SADEN (S.), 1974. — Effect of sublethal concentrations of the insecticides DDT, Abate and Sevin applied to 3rd stage larvae of *Anopheles pharoensis* on malaria cycle in the adult mosquito. *J. Egypt. Publ. Hlth. Ass.*, 49 : 329.
- RUTLEDGE (L. C.), WARD (R. A.) et GOULD (D. J.), 1964. — Studies on the feeding response of mosquitoes to nutritive solutions in a new membrane feeder. *Mosq. News*, 24 : 407-419.
- SUCHARIT (S.), KERDPIBULE (V.), CHOMCHARN (Y.) et LIMSUNWAN (S.), 1984. — *Plasmodium falciparum* in bisazir chemosterilised *Anopheles dirus* in laboratory studies. *Sth. As. J. Trop. Med. Pub. Hlth.*, 15, 2 : 228-233.
- ZHAROVA (A. N.) et RASNITSYN (S. P.), 1984. — (Persistence of the agent of malaria in mosquitoes treated with sublethal doses of insecticides). *Med. Parasitol. Bolezni*, 5 : 82-84.

3. Approche quantitative de la transmission

- 3.1. La transmission du paludisme en zone de savane arborée et en zone rizicole des environs de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso.
ROBERT V., GAZIN P., BOUDIN C., MOLEZ J.-F., OUÉDRAOGO V. & CARNEVALE P.
Ann. Soc. belge Méd. trop., 1985, 65, Suppl.2: 201-214.....p. 167

- 3.2. La transmission du paludisme humain dans un village de savane du sud-ouest du Burkina Faso.
ROBERT V., CARNEVALE P., OUÉDRAOGO V., PETRARCA V. & COLUZZI M.
Ann. Soc. belge Méd. trop., 1988, 68 (2), 107-121.....p. 181

- 3.3. Le paludisme urbain à Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. 1. Etude entomologique de la transmission.
ROBERT V., GAZIN P., OUÉDRAOGO V. & CARNEVALE P.
Cah. ORSTOM, Sér. Ent. méd. Parasitol., 1986, 24: 121-128.....p. 197

- 3.4. La transmission du paludisme humain dans un village au centre de la rizière de la Vallée du Kou, Burkina Faso.
ROBERT V., OUÉDRAOGO V. & CARNEVALE P.
A paraître..... p. 205

- 3.5. Etude sur les taux d'infection du complexe *Anopheles gambiae* dans la rizière de la Vallée du Kou, Burkina Faso.
ROBERT V., PETRARCA V., COLUZZI M., BOUDIN C. & CARNEVALE P.
A paraître.....p. 213

- 3.6. Malaria transmission in three sites surrounding the area of Bobo-Dioulasso, Burkina Faso: the savanna, a rice field, and the city.
ROBERT V., GAZIN P. & CARNEVALE P.
Bull. Soc. Vector Ecol., 1987, 12: 541-543.....p. 231

- 3.7. De la difficulté de prévoir les répercussions sanitaires des aménagements hydroagricoles; le cas du paludisme dans la rizière de la Vallée du Kou au Burkina Faso.
ROBERT V., GAZIN P. & CARNEVALE P.
Ouvrage de synthèse. *Le risque en agriculture*, 1989, ORSTOM éd., Paris.
A paraître.....p. 235

- 3.8. *Plasmodium falciparum* incidence and patency in a high seasonal transmission area of Burkina Faso.
GAZIN P., ROBERT V., COT M. & CARNEVALE P.
Trans. R. Soc. trop. Med. Hyg., 1988, 82: 50-55.....p. 241

- 3.9. Réflexions sur les risques d'infection palustre selon la densité et l'infectivité anophéliennes.
GAZIN P., ROBERT V., AKOGBETO M. & CARNEVALE P.
Ann. Soc. belge Méd. trop., 1985, 65: 263-269.....p. 247

LA TRANSMISSION DU PALUDISME EN ZONE DE SAVANE ARBOREE ET EN ZONE RIZICOLE DES ENVIRONS DE BOBO DIOULASSO (BURKINA FASO)

par

V. ROBERT, P. GAZIN, C. BOUDIN, J. F. MOLEZ, V. OUEDRAOGO & P. CARNEVALE
Antenne ORSTOM auprès du Centre Muraz, B. P. 171, Bobo Dioulasso, Burkina Faso

Résumé — Une étude de la dynamique de la transmission du paludisme a été effectuée pendant deux ans dans trois villages des environs de Bobo-Dioulasso (Burkina Faso). Ces villages ont été choisis comme étant les plus représentatifs des principales situations écologiques de la région : savane arborée soit relativement sèche, soit plus humide de par la proximité d'un marigot sub-permanent et zone rizicole de création récente (\approx 12 ans).

176 séances de captures de nuit sur sujets humains ont montré que partout la transmission est saisonnière, elle est perceptible après le début des pluies et s'effectue majoritairement entre le milieu de la saison des pluies et le début de la saison sèche.

En savane *Anopheles gambiae* s.l. et *Anopheles lunestus* assurent la grande majorité de la transmission alors que *A. lunestus* n'est pas ou peu représenté en rizière.

En savane relativement sèche la densité de ces vecteurs est « faible » (1.200 piqûres de vecteurs/homme/an) et la transmission est de l'ordre de 55 piqûres infectées réparties de juin à octobre.

En savane plus humide la densité est « moyenne » (7 000 piqûres/homme/an) et la transmission annuelle nettement plus forte, de l'ordre de 133 piqûres infectées réparties de mai à décembre.

En zone rizicole la densité est très élevée (14 000 piqûres/homme/an) toute l'année grâce à l'irrigation permanente. Toutefois le taux annuel d'inoculation et la période de transmission sont comparables à ceux de la savane sèche (50 à 60 piqûres infectées/homme/an réparties de mai à novembre).

Ainsi la zone rizicole constitue un « paradoxe épidémiologique » où la densité de vecteur est 10 fois supérieure à celle de la savane avoisinante, mais les indices sporozoïtiques sont environ 10 fois moindres, de sorte qu'il n'y a pas d'accroissement de la transmission. Les raisons de cette situation anophélienne sont analysées et discutées.

Cette étude illustre, dans les savanes d'Afrique de l'ouest, quelles peuvent être les conséquences d'une modification du biotope en zone rizicole sur la transmission du paludisme. Un aménagement hydro-agricole a effectivement entraîné une pullulation permanente d'anophèles mais celle-ci n'a pas été suivie de l'augmentation attendue de la transmission.

KEYWORDS : Malaria, Transmission; *Anopheles gambiae*; *Anopheles lunestus*; Burkina Faso.

Parmi les nombreux problèmes qui se posent en Afrique, deux revêtent une importance cruciale actuellement : l'alimentation et la sécheresse. Ces deux problèmes ont un dénominateur commun : la maîtrise de l'eau. Cependant les « aménagements hydrauliques à usage agricole peuvent avoir des répercussions... sur l'épidémiologie des maladies à vecteurs » (6) notamment le paludisme, la bilharziose...

La création de zones rizicoles se traduit généralement par un changement de la faune culicidienne avec, en Afrique, une massive augmentation d'*Anopheles gambiae* s.l. Ceci a été noté aussi bien au Kenya (2, 9) qu'en Gambie (7, 8) où cet auteur considère que les rizières constituent une situation idéale pour les moustiques. En est-il de même pour les populations humaines ? La question doit être envisagée au moment où des pro-

jets de pisciculture, riziculture et autres aménagements hydroagricoles se mettent en place dans les zones sahéniennes et sub-sahariennes.

Dans le présent travail nous avons cherché à préciser la dynamique de la transmission du paludisme dans le périmètre aménagé en zone rizicole de la Vallée du Kou, et à la comparer à celle des villages de la savane typique environnante. Des études parasitologiques et immunologiques sont réalisées parallèlement dans ces villages et feront l'objet d'autres publications.

1. Présentation des biotopes

1.1. Climat général

Il se caractérise par l'alternance de deux saisons : la saison des pluies : de début mai à fin octobre avec un maximum de précipitations en août; la saison sèche : de début novembre à fin avril pratiquement sans précipitations sauf parfois en mars (Fig. 1). La moyenne des précipitations annuelles dans la région de Bobo-Dioulasso se situe à 1.000 mm.

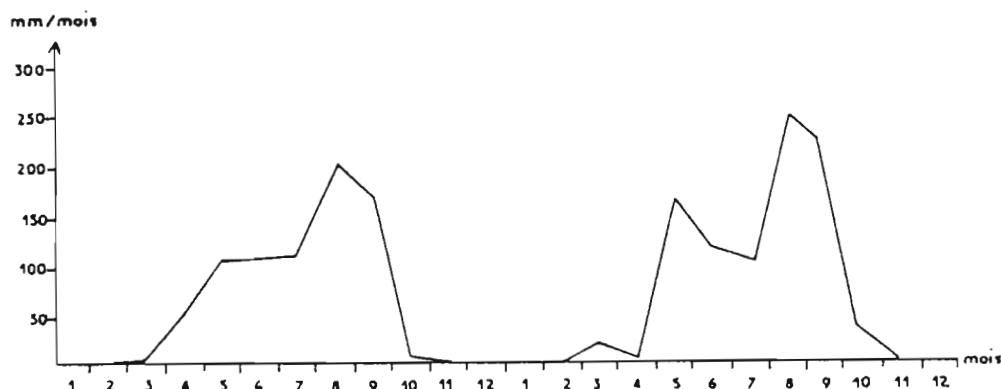


Figure 1.
Pluviométrie en 1983 et 1984 dans la région de Bobo-Dioulasso.

Les mois de décembre, janvier et février sont nettement plus frais et plus secs que le reste de l'année.

1.2. Les villages étudiés dans la zone de savane

La zone phytogéographique considérée est la marge nord des savanes soudano-guinéennes. Le paysage est typiquement arboré. Le tapis herbacé est très dense et très fourni; il est habituellement brûlé en début de saison sèche.

« Dandé » et « Tago » sont deux quartiers d'un même village à 55 km au nord de Bobo-Dioulasso sur l'axe Bobo-Mopti. L'habitat est de type traditionnel : à Dandé, il est groupé avec des cases parallépipédiques à murs de banco et toiture intérieure de bois; à Tago, il est plus dispersé, les cases sont circulaires avec un mur de banco et des toits coniques en paille tressée. L'ethnie dominante est Bobo à Dandé et Mossi à Tago. Il n'y a pas de mare ou marigot à proximité.

« Kongodjan » est un espace de bas-fond argileux à proximité d'un marigot permanent, récemment peuplé de Samos et de Mossis. L'habitat est organisé en concessions dispersées.

1.3. Les villages étudiés dans la zone rizicole

C'est une zone de 1.000 hectares d'un seul tenant à 30 km au nord de Bobo-Dioulasso sur l'axe Bobo-Mopti.

L'irrigation y est le fait essentiel; elle se fait grâce à un petit barrage sur une rivière permanente (le Kou) et un canal principal d'amenée d'eau puis par un réseau de canaux. La riziculture se déroule en deux campagnes annuelles, l'une en saison des pluies de juillet à novembre, l'autre dite de « contre saison », en saison sèche de janvier à juin.

Six villages construits entre 1970 et 1972 abritent 10.000 personnes majoritairement Mossis. « VK4 » est un village au cœur de la rizièrre, « VK6 » la borde. Les cases sont alignées, le plus souvent parallépipédiques avec des murs de banco et un toit en tôle ondulée, d'autres sont circulaires avec un mur de banco et un toit conique en paille.

2. Matériel et méthodes

Les anophèles sont prélevés à l'intérieur de quatre maisons par la méthode classique des captures de nuits sur sujets humains. Une équipe de 4 captureurs travaille de 20 h à 01 h puis une autre de 01 h à 06 h, deux nuits consécutives toutes les 4 semaines dans chaque village.

La détermination et la dissection (ovaires + glandes salivaires) se font le matin au laboratoire. La détermination de la parturité est faite selon la méthode classique de Detinova (4) tandis que la recherche des sporozoïtes se fait à frais, entre lame et lamelle dans une goutte d'eau physiologique.

3. Résultats

Au total 17.395 anophèles dont 11.938 *A. gambiae* s.l., 2.664 *A. funestus*, 41 *A. nili*, 2.426 *A. pharoensis*, 319 *A. coustani*, 6 *A. rufipes* et 1 *A. squamosus* ont été récoltés au cours des 176 séances de captures faites en 1983 et 1984.

3.1. Composition de la faune culicidienne agressive pour l'homme

En savane, *A. gambiae* et *A. funestus* représentent 85 % des effectifs culicidiens récoltés. Annuellement un habitant de Dandé reçoit quelques 1.750 piqûres de moustiques entre 20 et 06 heures, dont 1.500 d'*A. gambiae* et *A. funestus*. Le reste se répartit entre *A. pharoensis*, *A. coustani*, *A. nili*, divers *Aedes* et *Culex*.

En rizièrre, *A. gambiae* et *A. funestus* représentent 70 % des effectifs culicidiens récoltés. Annuellement un habitant de VK6 reçoit 20.000 piqûres de moustiques dont 13.900 d'*A. gambiae* et *A. funestus*. Le reste se

compose d'*A. pharoensis*, *A. coustani*, *A. nili*, *C. fatigans*, *C. poicilipes*, divers *Mansonia*, *Aedes* et *Culex*.

Par la suite nous ne prendrons en considération que les deux principaux vecteurs du paludisme dans la région : *A. gambiae* s.l. et *A. funestus*, car pour les autres vecteurs, soit leurs effectifs (*A. nili*) soit leur taux d'infection (*A. pharoensis*, *A. coustani*) sont négligeables.

3.2. Variations saisonnières des densités de vecteurs

En rizière le nombre annuel de piqûres d'anophèle vecteur est d'environ 14.000, à Kongodjan il est de 7.500 et de 1.400 en savane sèche. Ainsi la densité agressive d'anophèles est globalement 10 fois plus intense en zone rizicole que dans les villages de savane et 3 fois plus importante qu'à Kongodjan installé près d'un marigot (Tableau 1). Mais, outre la densité anophélienne, c'est aussi la période où ont lieu ces piqûres qui différencie les biotopes considérés.

TABLEAU 1
Densités anophéliennes moyennes enregistrées en 1983 et 1984
à l'occasion des captures de nuit sur sujets humains

Village (faciès)	Espèces	Nombre de mois positifs	« ma » quotidien pour les mois positifs	« ma » annuel
Dandé - Tago (savane type)	<i>A. gambiae</i>	6	3,5	845
	<i>A. funestus</i>	≤ 5	3,1	535
	Total	≤ 7	6,5	1 380
Kongodjan (savane près d'un marigot sub-permanent)	<i>A. gambiae</i>	10	11,0	4 010
	<i>A. funestus</i>	6-12	9,5	3 470
	Total	11	21,5	7 480
VK 6 (rizière périphérie)	<i>A. gambiae</i>	12	36,2	13 320
	<i>A. funestus</i>	4	4,5	580
	Total	12	38,0	13 900
VK 4 (rizière centre)	<i>A. gambiae</i>	12	37,5	13 930
	<i>A. funestus</i>	2	1,2	70
	Total	12	38,3	14 000

« ma » = nombre de ♀/H/N.

3.2.1. En savane

A Dandé-Tago sur l'ensemble de l'année la densité moyenne est de 3,5 femelles par homme par nuit (♀/H/N) d'*A. gambiae* et 3,1 ♀/H/N d'*A. funestus*. Pendant les mois où les anophèles sont capturés le nombre moyen de piqûre d'anophèle/H/N est 6,5.

A Dandé les maxima ont été de 16 ♀/H/N d'*A. gambiae* en septembre, 8 ♀/H/N d'*A. funestus* en octobre et 19 piqûres d'anophèles/H/N en septembre. Aucune piqûre n'a été enregistrée de décembre à avril. *A. gambiae* et *A. funestus* ont des évolutions comparables mais décalées dans le temps, toutefois ces deux espèces disparaissent pratiquement en même temps, un mois après la fin des pluies (Fig. 2a).

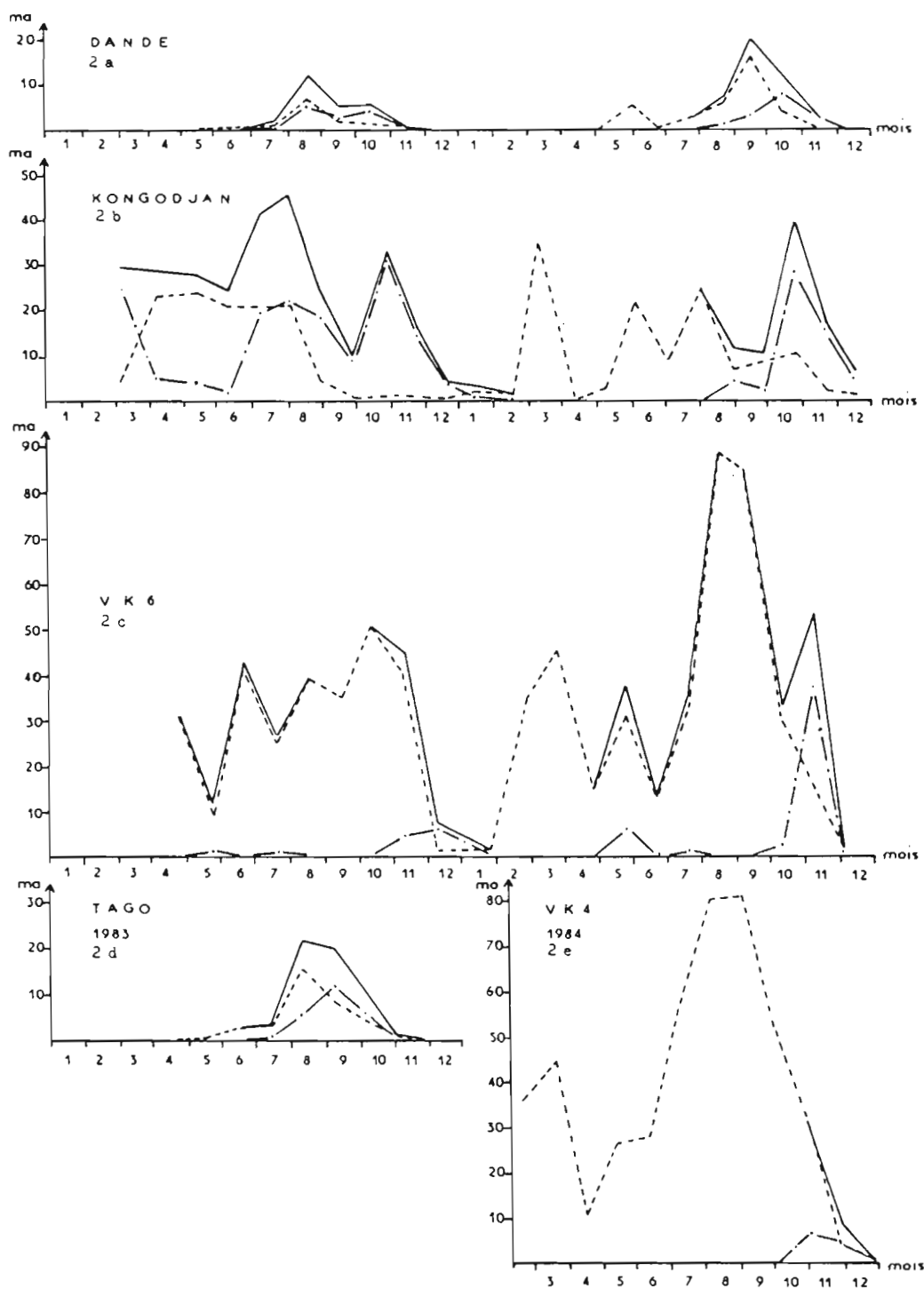


Figure 2.
Taux quotidien de piqûres
dû à *Anopheles gambiae* — — — — —, *A. funestus* — — — — —, total *A. g.* + *A. f.* — — — — —
en 1983 et 1984.

A Kongodjan la densité d'*A. gambiae* est de 11,0 ♀/H/N et celle d'*A. funestus* est de 9,5 ♀/H/N pour la période où ces anophèles sont capturés soit 21,5 ♀/H/N sur l'ensemble des mois avec des anophèles.

Pour *A. gambiae* on note :

- en saison des pluies « un plateau » de l'ordre de 25 ♀/H/N d'avril à août 1983 et en 1984 une succession de pics (ma = 20 ♀/H/N) avec un maximum de 25 ♀/H/N début août;
- pendant la saison sèche une densité très faible (ma = 1 ♀/H/N) avec une « explosion » éphémère en mars 1984 (ma = 37 ♀/H/N) due à la « pluie des mangues » (Fig. 2b).

Ainsi *A. gambiae* est très abondant pendant les pluies et faiblement représenté pendant la saison sèche.

La densité d'*A. funestus* varie de 0 (fin de saison sèche) à 30 ♀/H/N (début de saison sèche). Le maximum est atteint en octobre-novembre alors que l'on ne capture que 2 à 3 ♀/H/N d'*A. gambiae*. Cette évolution générale a été notée en 1983 et en 1984. Ainsi *A. funestus* supplante *A. gambiae* pendant la 2^{me} partie de la saison des pluies et le début de la saison sèche.

3.2.2. En rizière

A VK4, la densité moyenne d'*A. gambiae* est de 37,5 ♀/H/N. Cette espèce atteint des valeurs de 80 ♀/H/N en pleine saison des pluies (Fig. 2e). Par contre les densités d'*A. funestus* sont nulles sauf en début de saison sèche (6 ♀/H/N en octobre-novembre).

A VK6, la densité moyenne d'*A. gambiae* est de 36,2 ♀/H/N avec des maxima de 90 ♀/H/N de août à septembre (Fig. 2c). *A. funestus* n'est pratiquement présent que d'octobre à décembre. En 1983 et en 1984 les densités maximum sont respectivement 6,5 et 38 ♀/H/N. A cette période la densité d'*A. gambiae* est en nette régression. C'est le moment de l'épiaison du riz, stade de développement de la plante (végétation dressée, ombre) qui n'est pas favorable à l'écologie larvaire d'*A. gambiae* mais favorable à celle d'*A. funestus*. Lorsque le riz est en phase de repiquage et au début de sa croissance on constate un pic spectaculaire de la densité d'*A. gambiae* avec plus de 80 ♀/H/N en août-septembre à VK4 (Fig. 2e) et VK6 (Fig. 2c), ainsi que quelques 45 ♀/H/N en mars pendant la « contre culture » de la saison sèche (Fig. 2c).

Comme attendu la culture inondée du riz crée et multiplie les gîtes larvaires qui s'ajoutent aux habituels gîtes naturels et anthropiques, entraînant en zone rizicole, une pullulation culicidienne dont la phénologie est fonction du rythme de l'irrigation de la culture et des précipitations atmosphériques.

3.3. Age physiologique des vecteurs

Le pourcentage moyen de femelles pares d'*A. gambiae* varie dans les trois principaux biotopes considérés : 46 % en zone rizicole, 73 % à Kongodjan et 61 % en savane typique (Tableau 2). C'est donc dans le village installé près du marigot que la longévité des populations imaginales

semble la meilleure. Par contre les pourcentages moyens de femelles pares d'*A. funestus* ne présentent pas ces variations en fonction du biotope : de 73 à 78 % pour l'ensemble des femelles capturées.

3.3.1. En savane

A Dandé et à Tago les effectifs d'*A. gambiae* capturés et disséqués sont trop faibles pour que l'on puisse tirer des conclusions définitives sur la variation saisonnière de l'âge physiologique des femelles agressives pour l'homme la nuit. Le pourcentage moyen de femelles pares prises de nuit est de 62 % pour *A. gambiae* et de 73 % pour *A. funestus*.

A Kongodjan le pourcentage annuel de femelles pares est de 73 % pour *A. gambiae* et de 77 % pour *A. funestus*.

Pour *A. gambiae*, en 1983, le taux de parturité (70 %) et la densité (25 ♀/H/N) sont élevés de façon concomitante de mars à août. Ensuite les effectifs sont trop faibles pour que les pourcentages aient une signification.

La capture, en mars 1984, de 295 ♀ révèle une bouffée anophélienne du seul *A. gambiae* (ma = 40 ♀/H/N) dont les femelles sont nullipares à 82,5 %. En pleine saison sèche la pluie de mars crée des gîtes immédiatement et temporairement productifs autorisant le développement d'une « génération de reprise » d'*A. gambiae*. Cette génération n'a pas trouvé les conditions autorisant sa reproduction (Fig. 2b).

Début juin 1984 on note, sur 178 ♀ d'*A. gambiae* capturées, un taux de parturité très élevé (97 %) associé à un effectif en nette augmentation (de 3,1 à 22,2 ♀/H/N). Les pluies de mai ont créé comme en mars des gîtes larvaires à l'origine d'une nouvelle génération de reprise qui était déjà vraisemblablement une cohorte en régression lors de nos captures.

En août-septembre on capture peu d'*A. gambiae* (ma = 10 ♀/H/N) à fort taux de parturité (80 %), ceci peut traduire le classique « lessivage » des gîtes larvaires par les pluies fréquentes et abondantes à cette période de l'année.

3.3.2. En rizière

A VK4 les pourcentages de femelles pares sont relativement faibles, toujours inférieurs à 45 % pour *A. gambiae* sauf en octobre-novembre. La prédominance des jeunes femelles est très nette en mars où sur les 169 spécimens disséqués 96,5 % sont nullipares. A cette période la densité est élevée (ma = 45 ♀/H/N); l'association d'une telle densité avec un pourcentage très élevé de femelles nullipares signe la productivité des gîtes larvaires en pleine saison sèche. L'ensemble de la population capturée à ce moment-là provient d'une éclosion massive et synchrone précédant de quelques jours les séances de captures.

On note également que le maximum de densité (80 ♀/H/N en août) correspond au minimum du taux de parturité (16 % de femelles pares). Cette forte densité d'*A. gambiae* pendant les pluies signent la production permanente et intense des gîtes, phénomène classique observé précédemment (5).

A VK6 les taux de parturité d'*A. gambiae* sont toujours plus élevés qu'à VK4 (respectivement 54 % et 40 % pour *A. gambiae*) avec des maxima de 97 % en juin et 93 % en juillet (pluies) et un minima de l'ordre de 20 % en février-mars (saison sèche). A cette période la densité est de l'ordre

de 40 ♀/H/N. L'association de cette forte densité et du pourcentage élevé de femelles nullipares signe la production pendant la saison sèche, des gîtes larvaires près de ce village situé à la lisière rizière-savane.

3.4. Infectivité des vecteurs

Les indices sporozoïtiques d'*A. gambiae* et *A. funestus* les plus faibles sont notés en zone rizicole et plus élevés dans les villages de savane typique; ils sont intermédiaires à Kongodjan : respectivement 0,5 %, 4,8 % et 1,7 % pour *A. gambiae*; 0,6 %, 4,6 % et 2,1 % pour *A. funestus* (Tableau 2). On note que dans les trois biotopes considérés les indices d'infectivité des deux vecteurs présentent des valeurs moyennes comparables.

TABLEAU 2.
Indice sporozoïtique moyen et taux de parturité moyen des femelles agressives pour l'homme
capturées de nuit à l'intérieur des maisons en 1983 et 1984

Village (faciès)	Espèce	Indice sporozoïtique (en %)		Taux de parturité (en %)	
		pour les mois positifs	pour l'ensemble de l'année	pour les mois positifs	pour l'ensemble de l'année
Dandé-Tago (savane type)	<i>A. gambiae</i>	6,5	4,8	61	62,1
	<i>A. funestus</i>	6,3	4,6	73,6	73,4
Kongodjan (savane près d'un marigot sub-permanent)	<i>A. gambiae</i>	3,7	1,7	72,5	72,9
	<i>A. funestus</i>	2,8	2,1	78,1	76,6
V 4 + VK 6 (rizière)	<i>A. gambiae</i>	1,4	0,5	45,8	45,8
	<i>A. funestus</i>	0,9	0,6	73,5	73,2

Les variations de l'indice sporozoïtique sont concomitantes de celles du taux de parturité aussi bien en savane qu'en zone rizicole.

3.4.1. En savane

A Dandé-Tago sur les 659 femelles d'*A. gambiae* disséquées pour l'ensemble de l'étude, 32 soit 4,8 % sont positives. Ces infections ne sont notées que pendant quatre mois à Dandé et cinq mois à Tago; pour ces mois l'indice sporozoïtique moyen d'*A. gambiae* est de 6,5 %. Sur les 303 glandes salivaires d'*A. funestus* examinées, 14 soit 4,6 % sont positives; ces infections sont décelées pendant 2-3 mois (de septembre à octobre à Dandé; d'août à octobre à Tago) et l'indice sporozoïtique moyen est alors de 6,3 %.

A Kongodjan les femelles d'*A. gambiae* sont trouvées infectées pendant quatre à six mois par an sans discontinuité. L'indice sporozoïtique moyen d'*A. gambiae* est 3,7 % pour les mois « positifs » tandis que pour l'ensemble de l'étude il est 1,7 % (2.072 glandes salivaires examinées). Les maxima ($\approx 7\%$) sont enregistrés au cours de la seconde partie de la saison des pluies (août 1983; septembre-octobre 1984).

L'indice sporozoïtique moyen d'*A. funestus* est 2,8 % pendant les mois « positifs » et 2,1 % pour l'ensemble de l'étude (1.601 glandes salivaires disséquées). Le maximum est 6,0 % en juillet-août 1984. On remarque que

des femelles d'*A. funestus* sont trouvées infectées en novembre et décembre alors qu'*A. gambiae* n'est presque plus représenté.

3.4.2. En rizière

Les indices sporozoïtiques d'*A. gambiae* sont faibles : 1,4 % en moyenne pour les mois positifs (juin à novembre) et 0,5 % pour l'ensemble de l'étude (effectif 8.042 glandes disséquées). L'indice maximum (5,3 % sur un effectif de 262) est enregistré à VK6 en juillet 1984. Pour les 2 années considérées l'indice sporozoïtique d'*A. funestus* est 0,6 % (effectif 492).

3.5. Taux quotidien et taux annuel d'inoculation

3.5.1. En savane

A Dandé-Tago la transmission est perceptible de mai à octobre (Fig. 3a) avec une moyenne de 0,34 piqûres infectées d'*A. gambiae*/H/N et 0,30 piqûres infectées d'*A. funestus*/H/N (Tableau 3). Pendant la période de transmission la population reçoit en moyenne 0,45 piqûres infectées/H/N. Le maximum enregistré est de 1,15 piqûres infectées/H/N à Tago en août (Fig. 3d).

TABLEAU 3
Taux d'inoculation quotidien moyen pour les mois où la transmission est observée
et annuel moyen (h) calculés pour les années 1983 et 1984

Village (faciès)	Espèces	Nombre de mois positifs	h quotidien pour les mois positifs	h annuel
Dandé - Tago (savane type)	<i>A. gambiae</i>	≤ 5	0,34	38
	<i>A. funestus</i>	≤ 3	0,30	17
	Total	≤ 5	0,45	55
Kongodjan (savane près d'un marigot sub-permanent)	<i>A. gambiae</i>	4-6	0,51	69
	<i>A. funestus</i>	3-6	0,51	64
	Total	7-8	0,63	133
VK 6 (rizière périphérie)	<i>A. gambiae</i>	4-6	0,41	54
	<i>A. funestus</i>	0-3	0,13	6
	Total	5-6	0,42	60
VK 4 (rizière centre)	<i>A. gambiae</i>	5	0,36	50
	<i>A. funestus</i>	0	0	0
	Total	5	0,36	50

Dans ces villages de savane typique le nombre annuel de piqûres infectées est d'environ 55 (38 d'*A. gambiae* + 17 d'*A. funestus*).

Dans le quartier Tago la transmission est due davantage à *A. gambiae* qu'à *A. funestus*.

A Dandé en 1983 *A. funestus* est aussi important sinon plus qu'*A. gambiae* et succède à cette espèce en assurant la transmission pendant la seconde partie de la saison des pluies. En 1984 par contre *A. gambiae* assure la plus grande partie de la transmission (Fig. 3a).

A Kongodjan la durée de transmission est supérieure à celle enregistrée à Dandé-Tago. Elle est bien perceptible pendant sept à huit mois,

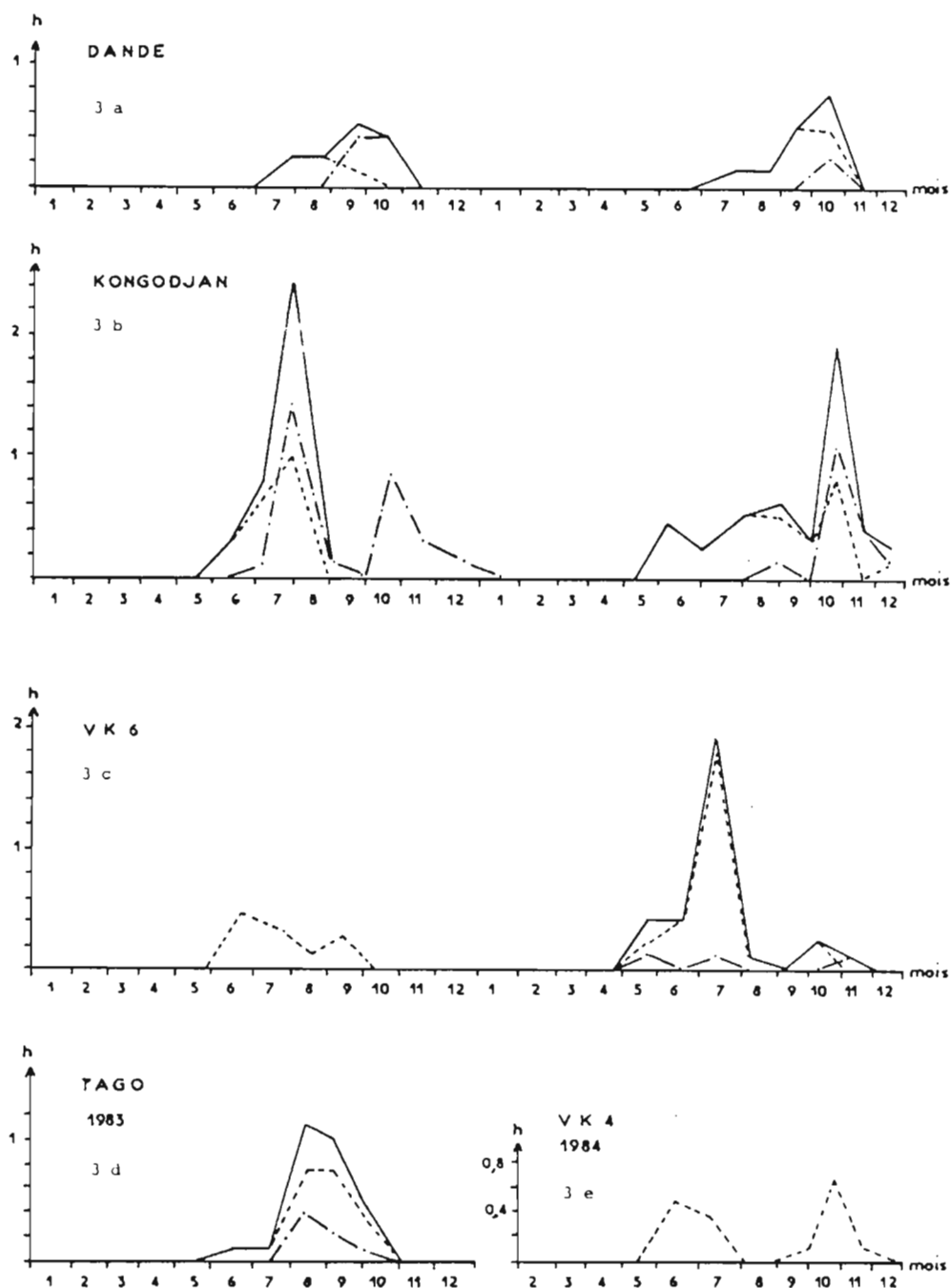


Figure 3.
Taux quotidiens d'inoculation
dû à *Anopheles gambiae* — — — — —, *A. funestus*, total *A. g.* + *A. f.* — — — — —
en 1983 et 1984.

de mai à décembre (Fig. 3b). Les périodes de transmission des deux vecteurs étant décalées les habitants de Kongodjan reçoivent en moyenne 0,63 piqûres infectées/H/N pendant cette période soit quelque 133 piqûres d'anophèles infectés par an.

En 1983 la transmission est due surtout à *A. funestus* (Fig. 3b) tandis qu'en 1984 c'est *A. gambiae* qui est le principal vecteur. Les maxima enregistrés sont 2,4 piqûres infectées/H/N en juillet-août 1983 et 1,9 en octobre 1984.

3.5.2. En rizière

A VK4 la transmission est faible et d'allure bimodale (Fig. 3e), elle est effective en mai-juin et octobre-novembre. Elle n'est le fait que d'*A. gambiae*. En juillet-août le maximum de densité (80 ♀/H/N) est associé à un minimum du taux de parturité (20 %); la « jeunesse » de cette population peut expliquer l'absence de glandes salivaires infectées et donc l'absence transitoire de transmission au cœur de la saison des pluies. Pendant la période de transmission, chaque villageois reçoit 0,36 piqûres infectées d'*A. gambiae*/H/N, soit 50 piqûres infectées par an.

A VK6 la transmission présente deux pics, le premier en juin-juillet (0,41 piqûres infectées/H/N en 1983; 1,9 en 1984) et le second nettement moins accentué, en septembre-octobre (0,25 piqûres infectées/H/N en 1983 et 1984) (Fig. 3c). Pendant la période de transmission les gens reçoivent 0,41 piqûres infectées/H/N d'*A. gambiae* et 0,13 piqûres infectées/H/N d'*A. funestus* soit 0,42 piqûres d'anophèles infectées/H/N. Par an ils reçoivent 60 piqûres infectées dont 54 d'*A. gambiae* et 6 d'*A. funestus*. Là aussi cette dernière espèce intervient dans la transmission du paludisme en fin de saison des pluies.

4. Discussion

L'observation* conjointe des densités et de l'âge physiologique des femelles d'*A. gambiae* capturées en mars et juin 1984 à Kongodjan permet de dégager la notion de cohorte. Ces deux échantillonnages révèlent l'existence de populations à émergence synchrone et le caractère discontinu de ce phénomène. La capture de mars, avec ses 82 % de femelles nullipares, concerne une population issue d'une éclosion massive et récente. La capture de juin avec ses 97 % de femelles pares concerne une population vieillissante et non renouvelée. Ceci laisse penser qu'au moins au moment où le régime des pluies se met en place l'émergence d'une cohorte est un phénomène isolé dans le temps de sorte que la dynamique des populations préimaginales et imaginales procède selon un mode discontinu. Cette observation corrobore l'écologie préimaginale d'*A. gambiae* qui se développe préférentiellement dans des flaques d'eau temporaires. C'est parce que la méthode utilisée a permis la collecte de très nombreux spécimens dans un intervalle de temps court (deux nuits consécutives) que cette information sur la discontinuité dans la production des gîtes larvaires d'*A. gambiae* a été obtenue.

En rizière les taux de parturité observés sont étonnamment bas. Des taux de parturité très faibles peuvent résulter d'une longévité réduite ou d'une dispersion différente des femelles pares et nullipares (1). Si les pares ont des potentialités de déplacement supérieures aux nullipares, en plaçant des captureurs au voisinage des gîtes larvaires le pourcentage de jeunes femelles est surestimé par rapport à son taux réel dans l'ensemble

de la population. Or, dans la rizière la multiplication des gîtes et leurs extensions sur un domaine de quelques 1.000 hectares, entraînant que la situation du captureur par rapport aux gîtes larvaires est secondaire, font que l'influence du lieu de capture biaise peu l'échantillonnage. Donc on peut raisonnablement penser à une forte réduction de la longévité des femelles d'*A. gambiae*, d'ailleurs plus nette dans le village installé au centre de la zone rizicole.

En Vallée du Kou, on note une remarquable corrélation négative entre les variations des densités d'*A. gambiae* et les pourcentages de femelles pares : aux pics de densité correspondent toujours les minima de femelles pares et vice-versa. Cette double séquence est observée aussi bien en 1983 qu'en 1984. Dans ces conditions on peut supposer des relations de causalité et envisager l'action de mécanismes régulateurs du type compétition intraspécifique au stade imaginal. Dans la zone rizicole, l'abondance et la production des gîtes larvaires entraîneraient l'apport massif et continu de femelles néonates; cette surabondance d'imagos tendrait à limiter la longévité des populations, donc à réduire le pourcentage d'adultes multipares. Cette hypothèse doit être explorée.

Les présentes études de la dynamique de la transmission en savane retrouvent les données d'Hamon *et al.* (5) quant au caractère saisonnier de la transmission clairement reliée au rythme des pluies et à la succession *A. gambiae* puis *A. funestus*. Ces auteurs avaient noté que les modalités de transmission pouvaient être différentes selon les villages, et notamment ceux installés près des marécages. Hamon *et al.* (5) écrivaient alors : « il est toujours dangereux de généraliser, même en zone de savane ». Cette observation rejoint les nôtres; le village de Kongodjan proche d'un marigot permanent enregistre trois fois plus de piqûres et 2,5 fois plus de transmission que Dandé-Tago en savane plus sèche.

Ces différences de transmission sont accentuées lorsque le biotope fait l'objet de modifications importantes pour des aménagements hydro-agricoles. Les habitants de la rizière sont abondamment piqués par les anophèles pendant la saison sèche, surtout lors du repiquage du riz qui nécessite une lame d'eau de 3 à 5 cm dans les parcelles. Il y a alors une pullulation des gîtes larvaires qui produisent une densité atteignant 40-45 piqûres/H/N. Mais ces anophèles ont une courte durée de vie et ne sont pas infectants. Dans la zone rizicole on relève une densité apparente d'anophèles dix fois plus importante que dans le village de savane typique (14.000/H/an) VK4 et 1.380 à Dandé mais la transmission y est quantitativement comparable (environ 50 piqûres infectées/H/an). Il faut souligner les conséquences de cette pullulation culicidienne en zone rizicole sur le comportement des villageois qui se sont équipés de moustiquaires, plus ou moins en bon état, dans leurs maisons. Dans ces conditions il est vraisemblable qu'ils reçoivent moins de piqûres, et donc moins de piqûres infectées que celles estimées par la méthode classique. Par ailleurs on note la présence du bétail le soir à l'intérieur des villages à proximité des habitations. Ceci peut influencer le comportement trophique des anophèles; effectivement les premières études ont révélé une réduction de l'anthropophilie (72 % en savane et 40 % en rizière pour *A. gambiae*, Robert et Killick Kendrick, observations non publiées). La possibilité de zoophagie et la réduction de la longévité peuvent participer à l'explication du « para-

doxe épidémiologique » que constitue cette zone rizicole, particulièrement en saison sèche, où on observe un important anophélisme à *A. gambiae* sans transmission observée du paludisme.

Coosemans *et al.* (3) observent l'inverse dans la plaine de la Ruzizi au Burundi où le paludisme est instable; la riziculture semble déterminante dans l'accroissement local de l'endémicité.

Cette différence d'observation montre combien il serait dangereux d'extrapoler et de généraliser et combien toute modification du biotope par des aménagements hydrauliques et agricoles doivent faire l'objet d'une attention particulière et spécifique.

5. Conclusion

Le périmètre rizicole représente une véritable « enclave épidémiologique » dans la zone de savane avoisinant Bobo-Dioulasso.

Cette constatation suscite un certain nombre de questions dont l'étude est en cours mais elle apporte une contribution positive pour les projets d'aménagements rizicoles actuellement élaborés dans des régions comparables d'Afrique de l'ouest en montrant clairement que de l'augmentation des densités anophéliennes ne découle pas nécessairement un accroissement de la transmission du paludisme.

Malaria transmission in wooded grassland and in rice field areas around Bobo Dioulasso (Burkina Faso).

Summary — A two years study has been carried out in the region of Bobo-Dioulasso (Burkina Faso), in three villages choosen to represent the main ecological situations of the sudanian savanna: either relatively dry savanna, or more humid savanna like sub-permanent marshy-land or an area with recently created rice fields.

After 176 night catches on human beings it clearly appeared that :

- the transmission is seasonal everywhere and reaches a maximum between the middle of the rainy season and the beginning of the dry season;
- in the savanna *Anopheles gambiae* s.l. and *Anopheles lunestus* are responsible for the main bulk of transmission but *Anopheles lunestus* is less represented in the rice fields;
- in the relatively dry savanna the density of these 2 species is « low » (1 200 bites of vectors/man/year) and the transmission occurs at a rate of 55 infected bites between June and October;
- in the more humid savanna the density of anopheles is « intermediate » (7 000 bites/man/year) and the transmission is much higher : 133 infected bites from May to December;
- in the area of the rice fields the density of *Anopheles* is very high (14 000 bites/man/year) all year long; this is due to the irrigation for the cultivation of rice even during the dry season. The yearly inoculation rate and the period of transmission can paradoxically be compared to those in the dry savanna (50-60 bites from May to November).

Therefore the rice fields create an epidemiological paradox where the density of the vector is 10 times higher than the one in the nearby savanna but the sporozoite rate is 10 times lower so that the expected increase of malaria transmission does not occur. The causes of this situation are analysed and discussed.

This study shows the consequences of the modifications of the biotope by rice culture on the transmission of human malaria in the Western Africa savanna. The hydro-agricultural works have indeed brought about an important and permanent increase of anopheles densities but the expected increase of the transmission did not follow as a consequence.

REFERENCES

1. Carnevale P, Molinier M : Le cycle gonotrophique et le rythme quotidien de piqûres d'*Anopheles gambiae* et *Anopheles nili*. Parassitologia, 1980, 22, 173-185.
2. Chandler JA, Highton RP : The succession of mosquito species (Diptera, Culicidae) in rice fields in the Kisumu area of Kenya and their possible control. Bull. ent. Res., 1975, 65, 295-302.

3. Coosemans M, Wéry M, Storme B, Hendrix L, Mfisi B : Epidémiologie du paludisme dans la plaine de la Ruzizi, Burundi. Ann. Soc. belge Méd. trop., 1984, **64**, 135-158.
4. Detinova TS : Méthodes à appliquer pour classer par groupes d'âge les Diptères présentant une importance médicale. OMS, Sér. Monogr., 1963, n° 47.
5. Hamon J, Adam JP, Grjebine A : Observations sur la répartition et le comportement des anophèles de l'Afrique équatoriale française, du Cameroun et de l'Afrique occidentale. Bull. OMS, 1956, **15**, 549-591.
6. Philippon B, Mouchet J : Répercussions des aménagements hydrauliques à usage agricole sur l'épidémiologie des maladies à vecteur en Afrique intertropicale. Colloque international : L'eau et les activités agricoles, Paris, 3-5/3/1976. Cah. C.E. N. E. C. A., 3213.
7. Snow WF : The vertical distribution of flying mosquitoes (*Diptera : Culicidae*) near an area of irrigated rice-fields in The Gambia. Bull. ent. Res., 1979, **69**, 561-571.
8. Snow WF : Mosquito production and species succession from an area of irrigated rice fields in The Gambia, West Africa. J. trop. Med. Hyg., 1983, **86**, 237-245.
9. Surtees G : Effects of irrigation on mosquito populations and mosquito-borne diseases in man, with particular reference to rice fields extension. Int. J. environm. Stud., 1970, **1**, 35-42.

LA TRANSMISSION DU PALUDISME HUMAIN DANS UN VILLAGE DE SAVANE DU SUD-OUEST DU BURKINA FASO*

par

V. ROBERT^{1,2}, P. CARNEVALE^{1,2}, V. OUEDRAOGO¹, V. PETRARCA³ & M. COLUZZI³

¹Antenne ORSTOM du Centre Muraz, BP 171, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

²Adresse actuelle où sont à demander les tirés-à-part:

OCEAC, BP 288, Yaoundé, Cameroun

³Istituto di Parassitologia, Università «La Sapienza», p.le A. Moro 5, 00185 Roma, Italia

Résumé — Une étude longitudinale, basée sur la capture de moustiques sur sujets humains s'est déroulée pendant un an dans un village de savane du sud-ouest du Burkina Faso.

Les vecteurs principaux du paludisme *Anopheles gambiae* et *A. funestus* sont rencontrés toute l'année avec des variations saisonnières importantes. *A. gambiae* a une densité maximum (ma = nombre de piqûres par homme et par jour = 40) au milieu de la saison des pluies; ce maximum précède de deux mois celui d'*A. funestus* (ma = 38). *A. nili* a un rôle vecteur très secondaire.

La transmission du paludisme est saisonnière de juin à décembre. Chaque homme reçoit en moyenne 244 piqûres infectées pendant cette saison. La transmission est observée pendant toutes les heures de la nuit; elle est minimale en début et en fin de nuit et maximale vers 01 h 30. Le village étudié est représentatif du rythme et des modalités de la transmission en savane; cependant celle-ci est plus élevée que dans les villages géographiquement comparables. Les possibilités de transmission en saison sèche, où aucun moustique infecté n'a été observé, sont discutées à la lumière des travaux antérieurs.

KEYWORDS: Malaria, Transmission; *Culicidae*; *Anopheles gambiae*; *Anopheles funestus*; *Anopheles nili*; Sudanese Savanna; Africa

1. Introduction

Jusque vers les années 1970, les études sur la transmission du paludisme visaient surtout à estimer l'efficacité d'un programme de lutte entomologique. L'avènement de l'important concept de faciès ou strate éco-épidémiologique (21, 3, 22, 29) a apporté un regain d'intérêt aux études sur la transmission, en particulier lorsque celles-ci s'insèrent dans une étude plus ambitieuse portant sur l'épidémiologie du paludisme dans une strate donnée.

C'est ce qui a été réalisé dans le village de Karangasso, Burkina Faso, pendant l'année 1985. Cette étude a été menée avant l'emploi généralisé de moustiquaires imprégnées de deltaméthrine, dans l'un des deux quartiers du village. L'estimation de l'efficacité de cette protection antivectorielle comme méthode de lutte antipaludique fera l'objet de publications ultérieures.

La mesure pertinente de la transmission devrait porter sur le nombre de sporozoïtes potentiellement infectants qui passent dans la circulation sanguine de l'homme. Cette mesure, techniquement très difficile, n'a encore jamais été faite. Actuellement on est limité à dénombrer sur un homme les piqûres

* Cette recherche a bénéficié d'une aide financière du Programme spécial de recherche et de formation pour les maladies tropicales PNUD/Banque Mondiale/OMS et de la Commission des Communautés Européennes.

d'anophèles porteurs de sporozoïtes dans leurs glandes salivaires; ces piqûres sont qualifiées d'infectées.

2. Description de la zone d'étude

La région de l'étude est une savane arborée qui appartient à la marge méridionale des savanes soudaniennes. Il existe deux saisons très contrastées: une saison sèche de novembre à avril et une saison pluvieuse de mai à octobre avec en moyenne 1 100 mm de pluie par an. Les températures moyennes varient entre 24° et 31° avec deux maxima en avril et novembre et un minimum en décembre (tableau 1).

TABLEAU 1
Données climatologiques dans la ville de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, en 1985
Rains (quantity in mm and number of rainy days) and temperatures (average of maxima, mean temperature and average of minima) observed in 1985 in the town of Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total ou moyenne
Précipitations en mm	0	0	10	6	138	192	296	418	214	58	0	0	1.332
Températures moyennes en °C	26,1	27,4	30,7	30,4	28,9	26,2	23,9	24,3	24,3	26,6	27,4	23,8	26,7

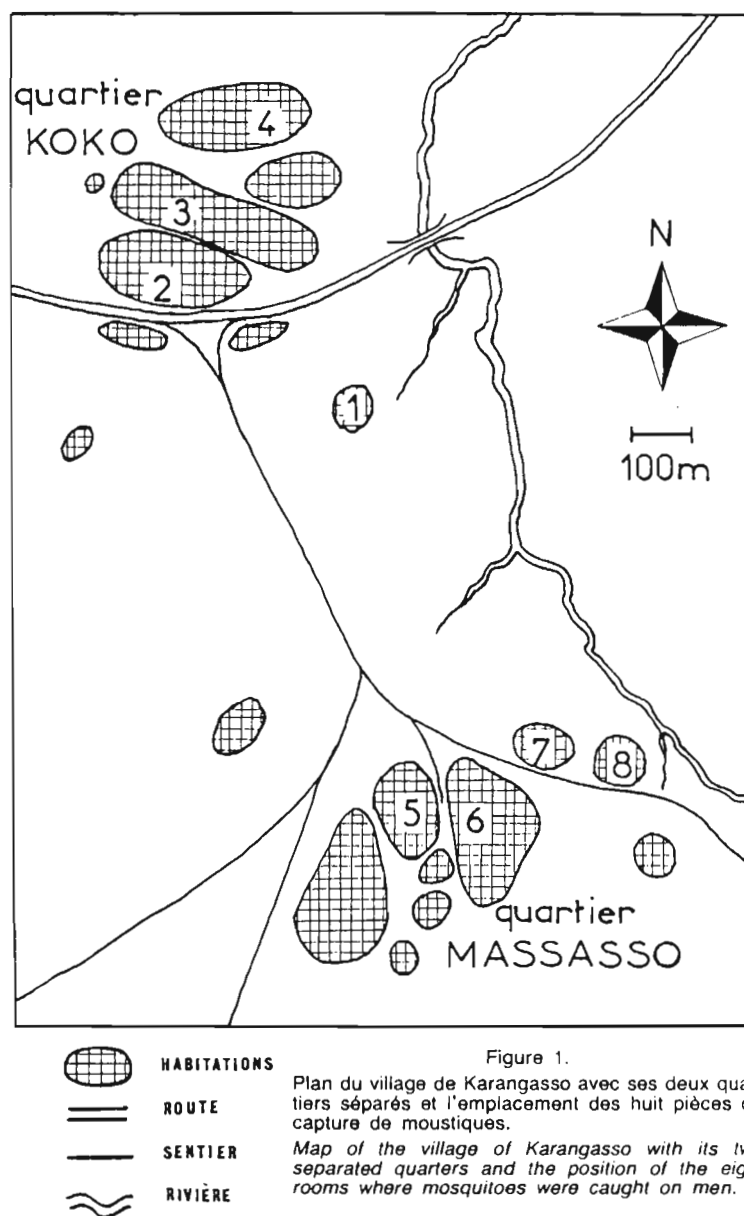
Le village de Karangasso, parfois dénommé Karangasso Sambla, est situé à 45 km à l'ouest de Bobo-Dioulasso, dans le sud-ouest du Burkina Faso. Il est organisé en deux quartiers, Massasso et Koko, distants de 800 m (fig. 1), qui regroupent chacun 2 000 personnes. Le peuplement humain appartient à l'ethnie Sambla. Ces gens sont des cultivateurs de mil, arachide et pomme de terre; ils élèvent aussi des porcs, de la volaille et des moutons mais pas de bœuf. L'habitat est de type traditionnel Bobo avec des maisons parallélipédiques, à murs de terre sèche et à toits en bois recouverts de terre sèche.

3. Matériel et méthode

Les moustiques ont été récoltés par des captures nocturnes sur sujets humains (protégés du paludisme par une prophylaxie médicamenteuse et vaccinés contre la fièvre jaune), à l'intérieur des maisons. Les pièces dans lesquelles ont été effectuées ces captures ont été choisies pour leur représentativité des chambres à coucher utilisées par les habitants et pour leur répartition dans l'ensemble du village (fig. 1), quatre dans le quartier Koko (pièces 1 à 4) et quatre dans le quartier Massasso (pièces 5 à 8).

Une équipe de quatre captureurs a travaillé de 20 h à 01 h puis une autre équipe de 01 h à 06 h dans les quatre pièces de capture d'un même quartier. La nuit suivante, la même enquête a été répétée dans l'autre quartier. Ces deux nuits consécutives de capture ont été effectuées régulière-

ment tous les 14 jours pendant un an. Les même huit captureurs ont travaillé pendant toute l'année; ils ont changé d'équipe, de quartier et de pièce à chaque nuit de capture, selon un programme préétabli dans le but de diminuer le biais dû au facteur «captureur» dans les résultats.



La détermination spécifique des moustiques capturés et la dissection des vecteurs potentiels de paludisme ont été faites le matin de la capture au laboratoire. L'âge physiologique a été précisé sur l'aspect des trachéoles ovariennes (1); ceci a permis de calculer le taux de parturité qui désigne le rapport du nombre de femelles paires sur l'ensemble des femelles paires et nullipares. La présence de sporozoïtes dans les glandes salivaires a été recherchée à frais, sans coloration ni écrasement (27).

L'analyse cytogénétique des *Anopheles gambiae* s.l. a été faite sur des échantillons de femelles semi-gravides capturées au pyrèthre, au repos, en fin d'après-midi, dans des maisons. Les techniques de conservation de montage et de lecture des chromosomes polyténiques des cellules trophocytaires de l'ovocyte ont été exposées par ailleurs (25). La nomenclature des formes chromosomiques de l'espèce *A. gambiae* est celle de Coluzzi *et al.* (6).

L'analyse du repas de sang des anophèles trouvés au repos, le jour, dans des maisons, et capturés au pyrèthre a été faite par la méthode de capture immunologique des complexes peroxydase-anti-peroxydase sur filtre de nitro-cellulose (20).

4. Résultats

Au total, 4.446 moustiques femelles dont 3.419 *Anopheles* (soit 77 % des moustiques) ont été capturés au cours des 54 nuits de capture faites du 26 février 1985 au 19 février 1986, regroupant 216 hommes-nuits.

La densité culicidienne annuelle agressive est 7.513 piqûres par homme.

4.1. Les espèces culicidiennes du genre *anopheles*

4.1.1. Les densités agressives pour l'homme (ma)

La densité anophélienne annuelle agressive est 5.777 piqûres par homme.

Les anophèles les plus fréquents appartiennent au complexe *A. gambiae* (tableau 2). Au milieu de la saison pluvieuse, seul *A. gambiae* est représenté dans ce village (tableau 3). Il est toutefois probable qu'en fin de saison pluvieuse et en saison sèche *A. arabiensis* soit aussi présent mais, étant plus zoophile, il est peu rencontré en captures sur sujets humains. On considérera donc, par la suite, que les *A. gambiae* s.l. agressifs pour l'homme appartiennent à *A. gambiae* s.s.

TABLEAU 2
Nombre de moustiques capturés sur sujets humains
pendant un an dans le village de Karangasso, Burkina Faso
Number of man biting mosquitoes caught during one year in the village of Karangasso, Burkina Faso

<i>Anopheles</i>		<i>Mansonia</i>		<i>Culex</i>		<i>Aedes</i>	
<i>gambiae</i> s.l.	1.679	<i>uniformis</i>	496	<i>quique-</i>		<i>gr. tarsalis</i>	23
<i>funestus</i>	1.371	<i>africana</i>	56	<i>fasciatus</i>	361	<i>lurcifer</i>	5
<i>nili</i>	295			<i>univittatus</i>	49	<i>hirsutus</i>	5
<i>pharoensis</i>	34			<i>gr. decens</i>	20	<i>vittatus</i>	3
<i>coustani</i>	25			<i>antennatus</i>	2	<i>fowleri</i>	2
<i>flavicauda</i>	14			<i>poicilipes</i>	2	<i>lucio-</i>	
<i>squamosus</i>	1					<i>cephalus</i>	2
						<i>argenteo-</i>	
						<i>punctatus</i>	1
3.419		542		434		41	

TABLEAU 3

Analyse chromosomique des femelles semi-gravides endophiles du complexe *Anopheles gambiae* prélevées les 23 et 29 août 1984 dans le village de Karangasso, Burkina Faso
 Chromosomal analysis of the half-gravid indoors-resting females of the *Anopheles gambiae* complex caught on August 23th and 29th 1984 in the village of Karangasso, Burkina Faso

<i>A. gambiae</i>				<i>A. ara-</i> <i>biensis</i>	Total
forme chromo- somique SAVANE	forme chromo- somique MOPTI	hybrides, recom- binants, non classés	Total		
42 (68 %)	17 (27 %)	3 (5 %)	62 (100 %)	0 (0 %)	62 (100 %)

A. gambiae et *A. funestus* Giles sont présents toute l'année. *A. nili* Theobald est seulement rencontré pendant quatre mois sans interruption (fig. 2). La densité annuelle agressive de ces trois espèces est respectivement 2.837, 2.317 et 498 piqûres par homme.

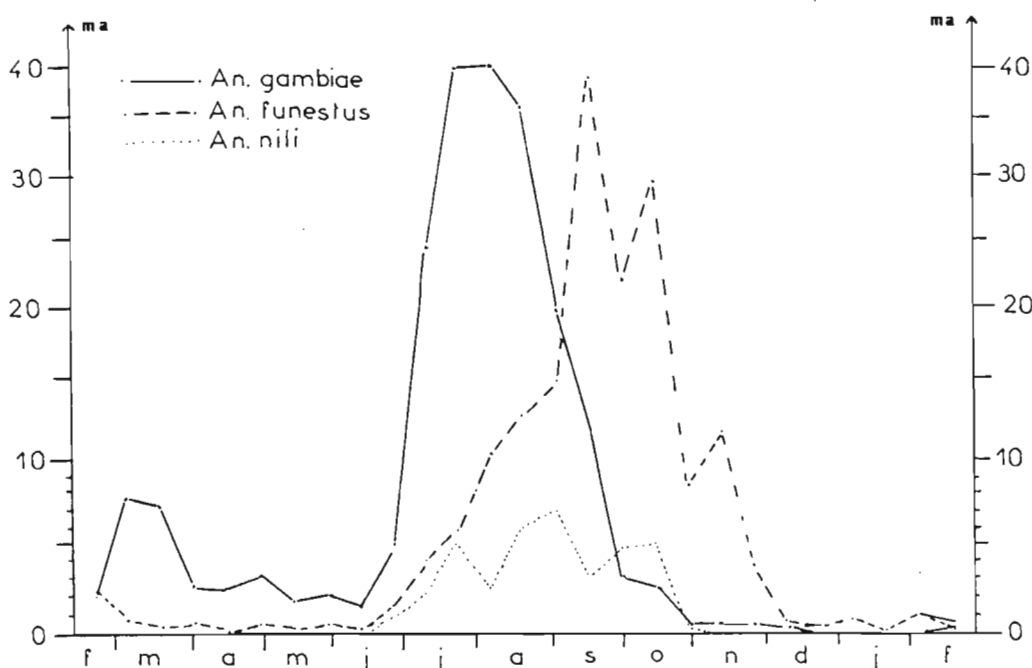


Figure 2.

Evolution de la densité quotidienne des vecteurs de paludisme agressifs pour l'homme
 (ma = nombre de piqûres par homme par jour).

Evolution of the human aggressivity rate of anopheline vectors
 (ma = number of bites per man per day).

Les variations saisonnières de ces trois espèces sont considérables. Au mois de juin, après les premières pluies créant des gîtes préimaginaux exploitables par les anophèles, la densité d'*A. gambiae* évolue en quatre semaines de 2 à 40 piqûres/homme/nuits, puis diminue constamment jusqu'à la fin de la saison pluvieuse. Au contraire, la densité d'*A. funestus* est croissante pendant la saison pluvieuse et atteint un maximum à la fin de celle-ci, en septembre-octobre (ma quotidien maximum = 7).

Les variations horaires de la densité montrent deux pics pour *A. gambiae* à 23 h 30 et à 02 h 30, et un pic pour *A. funestus* et pour *A. nili*, respectivement à 02 h 30 et à 22 h 30 (fig. 3).

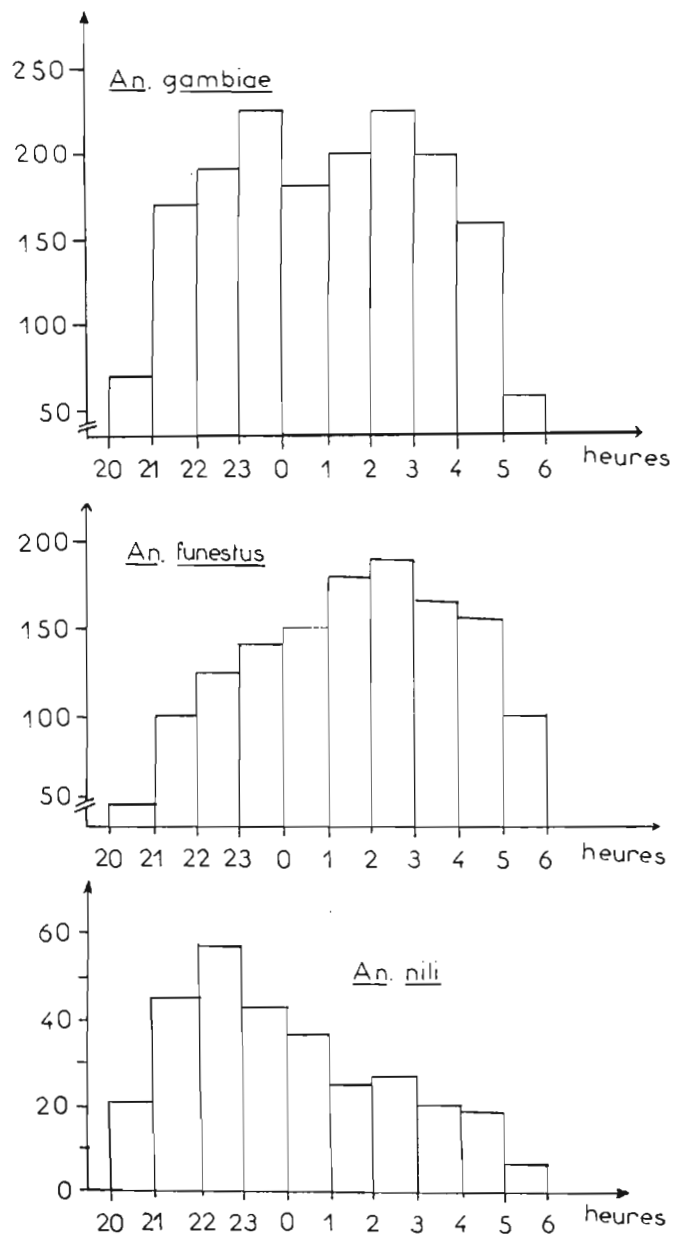


Figure 3.
Cycle d'agressivité des anophèles vecteurs.
Aggressivity cycle of the anopheline vectors
from 8 p.m. to 6 a.m.

La densité agressive dans le quartier Koko est inférieure à celle du quartier Massasso. Dans ces deux quartiers, le rapport de la densité d'*A. gambiae* est supérieure de 5,3 fois à la plus petite, observée dans la pièce n° 3 (tableau 5).

TABLEAU 4
 Nombre de femelles pares, nullipares et taux de parturité (TP) exprimés par tranches horaires pour les deux principaux vecteurs de paludisme
Number of parous and nulliparous females and parous rate (TP) of the two main malaria vectors presented hour by hour from 8 p.m. to 6 a.m.

		Heure											Total
		20	21	22	23	0	1	2	3	4	5	6	
<i>A. gambiae</i>	Pare	23	52	66	82	68	73	82	75	50	23		594
	Nullipare	13	29	32	31	25	33	30	26	27	10		256
	TP %	64	64	67	72	73	69	73	74	65	70		69,9
<i>A. funestus</i>	Pare	23	41	42	49	54	77	70	62	60	35		513
	Nullipare	7	18	16	25	18	15	21	18	24	9		171
	TP %	77	69	72	66	75	84	77	77	71	80		75,0

A. pharoensis Theobald, *A. coustani* Laveran, *A. flavicosta* Edwards et *A. squamosus* Theobald présentent une densité annuelle agressive de 125 piqûres par homme. Ces espèces sont peu représentées; cependant, les quelques observations faites sont en accord avec Hamon et Mouchet (1961).

4.1.2. Les taux de parturité (TP)

Les moyennes annuelles des TP sont 70 % pour *A. gambiae*, 75 % pour *A. funestus* et 76 % pour *A. nili*.

De juillet à novembre, le TP d'*A. gambiae* est 73 % et il atteint 57 % pendant le reste de l'année. Ainsi, en saison pluvieuse, la composition par groupes d'âge physiologique des populations d'*A. gambiae*, d'*A. funestus* et d'*A. nili* est pratiquement égale. Pour *A. funestus* le TP n'est pas significativement différent entre la saison pluvieuse (75 %) et la saison sèche (76 %).

Le TP varie en fonction de la tranche horaire entre 64 % et 74 % pour *A. gambiae* et entre 66 % et 84 % pour *A. funestus* (tableau 4); ces variations ne dégagent pas de nette tendance. Toutefois le TP des *A. gambiae* capturés entre 23 h et 04 h est 72 %, avant 23 h et après 04 h il est 66 %; la différence est significative ($\chi^2 = 4,07$, $p < 0,05$). Ainsi les femelles pares d'*A. gambiae* piquent préférentiellement au milieu de la nuit. Le TP des *A. funestus* capturés avant minuit est 70 % et après minuit il est 77 %; la différence est significative ($\chi^2 = 4,12$, $p < 0,05$). Ainsi les femelles pares d'*A. funestus* piquent préférentiellement la seconde moitié de la nuit.

Pour *A. gambiae*, le TP est inférieur dans le quartier Koko (66 %) par rapport au quartier Massasso (73 %); la différence est significative ($\chi^2 = 4,82$, $p < 0,05$). Il n'existe pas, pour cette espèce, de différence significative des TP en fonction de l'éloignement du lieu de capture par rapport à la rivière (tableau 5). Pour *A. funestus*, la différence par quartiers des TP n'est pas significative. Par contre, il existe une différence significative en fonction du lieu de capture par rapport à la rivière dans les pièces de capture n^{os} 1, 7 et 8, qui sont les plus proches de la rivière, et les pièces n^{os} 2, 3, 5 et 6, les plus éloignées (fig. 1), les TP sont respectivement 79 % et 68 % (tableau 5); $\chi^2 = 9,8$, $p < 0,01$.

4.1.3. Les indices sporozoïtiques (IS)

La présence de sporozoïtes dans les glandes salivaires a seulement été observée pendant six mois consécutifs de fin juin à mi-décembre. Pendant cette période les IS d'*A. gambiae* et d'*A. funestus* sont respectivement 5,6 % (805 dissections) et 4,3 % (736 dissections); la différence n'est pas significative ($\chi^2 = 1,13$, $p > 0,20$). L'IS d'*A. nili* est 1,1 % (175 dissections).

Les variations de l'IS en fonction de la tranche horaire vont dans le même sens que celles du TP pour *A. gambiae*: entre 23 h et 04 h l'IS est 5,5 % (606 dissections), avant 23 h et après 04 h l'IS est 3,9 % (397 dissections); la différence n'est pas significative ($\chi^2 = 0,76$, $p > 0,30$). Pour *A. funestus* l'IS avant et après minuit est semblable.

L'IS d'*A. gambiae* est inférieur dans le quartier Koko (2,4 %) par rapport au quartier Massasso (6,0 %); la différence est significative ($\chi^2 = 7,62$,

TABLEAU 5
 Résultats par maisons de capture et par quartiers des principaux paramètres
 observés sur les trois vecteurs de paludisme dans le village de Karangasso, Burkina Faso
*Number of malaria vectors caught, number of dissected vectors, parous rate and number of positive salivary glands
 in the eight rooms where mosquitoes were caught and in the two quarters of the village of Karangasso, Burkina Faso*

	Quartier Koko					Quartier Massasso					Total
	Maison n°										
	1	2	3	4	Total	5	6	7	8	Total	
Nombre de femelles capturées :											
<i>A. gambiae</i>	190	266	84	132	672	127	360	258	262	1.007	1.679
<i>A. funestus</i>	224	129	40	142	535	94	271	269	202	836	1.371
<i>A. nili</i>	51	32	6	13	102	15	56	59	63	193	295
Total	465	427	130	287	1.309	236	687	586	527	2.036	3.345
Nombre de femelles disséquées :											
<i>A. gambiae</i>	129	147	50	96	422	72	208	150	151	581	1.003
<i>A. funestus</i>	121	77	26	76	300	44	140	157	123	464	764
<i>A. nili</i>	30	21	5	9	65	9	31	36	34	110	175
Total	280	245	81	181	787	125	379	343	308	1.155	1.942
Taux de parturité (%) :											
<i>A. gambiae</i>	64	71	59	62	65,7	83	76	73	64	72,8	69,9
<i>A. funestus</i>	80	63	65	72	72,4	61	74	75	87	76,7	75,0
<i>A. nili</i>	88	—	—	—	84	—	57	84	72	72	76,3
Nombre de glandes salivaires avec des sporozoïtes :											
<i>A. gambiae</i>	4	4	1	1	10	3	14	14	4	35	45
<i>A. funestus</i>	2	2	2	3	9	2	6	9	6	23	32
<i>A. nili</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2
Total	6	6	3	4	19	5	20	23	12	60	79

$p < 0,01$). Pour *A. funestus* la différence observée va dans le même sens et n'est pas significative (3,0 % à Koko et 5,0 % à Massasso; $\chi^2 = 1,60$, $p > 0,20$; tableau 5).

4.1.4. Les taux d'inoculation entomologique ($h = ma \times IS$)

La transmission du paludisme est observée de juin à décembre. Au cours de cette période, la transmission atteint en moyenne 244 piqûres infectées par homme. Le h quotidien maximum est 3,2. Entre mi-juillet et mi-octobre, le h quotidien est constamment supérieur ou égal à 1. Pendant la saison de transmission, il existe un lien évident entre la quantité de transmission et la densité en anophèles vecteurs (fig. 4).

Dans le quartier Koko, la transmission est 3,2 fois plus faible que dans le quartier Massasso, respectivement 116 et 370 piqûres infectées par homme et par an; entre les pièces de capture n° 3 et n° 7, où l'écart est le plus grand, il existe même un facteur 7,7 (tableau 5).

Le h croît régulièrement par tranches horaires de 20 h à 02 h puis diminue irrégulièrement après (fig. 5).

4.1.5. Indices d'anthropophilie

L'analyse des repas sanguins montre que la presque totalité des *A. gambiae* et *A. funestus* endophiles ont pris leur repas sur homme; les indices d'anthropophilie sont respectivement 0,995 et 0,985. *A. rufipes* Gough, dont aucun n'a été capturé sur homme, est strictement zoophile (tableau 6).

4.2. Les espèces culicidiennes non anophéliennes

La densité culicidienne non anophélienne annuelle est 1.736 piqûres par homme.

Les *Mansonia* sont fréquents en saison pluvieuse et, après les anophèles, constituent le genre le mieux représenté dans les captures (tableau 2). Ce genre, nettement exophile pour ses lieux de repos, n'hésite pas à pénétrer dans les villages et les maisons pour piquer.

Les *Culex* sont également bien représentés, surtout en saison sèche quand ils bénéficient de gîtes préimaginaux entretenus par l'activité humaine. 83 % des *C. quinquefasciatus* sont capturés dans le quartier Koko.

Le genre *Aedes* est rencontré en saison pluvieuse, il est logiquement le moins bien représenté et sous-évalué par la méthode de capture employée.

5. Discussion

La dynamique des populations anophéliennes dans cette zone de savane peu modifiée par l'activité humaine est sous la dépendance première de facteurs climatiques. La succession des densités maximales d'*A. gambiae* puis d'*A. funestus* est classique (15, 31) et est à relier à la croissance

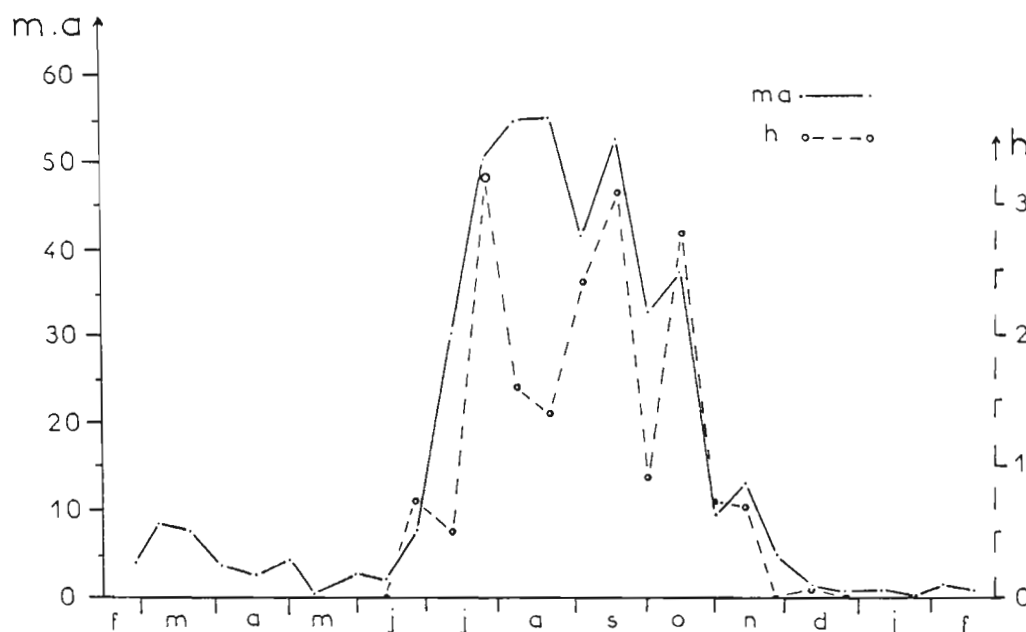


Figure 4.

Evolution de la densité agressive quotidienne (ma = nombre de piqûres par homme et par jour) des trois vecteurs *A. gambiae*, *A. funestus* et *A. nili* et du taux quotidien d'inoculation (h = nombre de piqûres infectées par homme et par jour) de février 1985 à février 1986 dans le village de Karangasso, Burkina Faso.

Evolution of the daily aggressivity rate (ma = number of bites per man per day) of the three vectors *A. gambiae*, *A. funestus* and *A. nili* and of the daily inoculation rate (h = number of infected bites per man per day) from February 1985 to February 1986 in the village of Karangasso, Burkina Faso.

végétale, en particulier de la strate herbacée au cours de la saison pluvieuse, et aux préférences écologiques des stades larvaires de ces espèces.

Les maxima horaires des densités agressives pour l'homme des trois espèces anophéliennes les plus fréquentes, *A. gambiae*, *A. funestus* et *A. nili*, sont décalés. Seul le deuxième pic d'*A. gambiae* correspond au pic d'*A. funestus* mais ces deux espèces se succèdent dans la saison. Il existe donc une périodicité décalée dans l'activité trophique de ces trois espèces, déjà notée par Hamon (13), qui réduit la compétition inter-spécifique.

A l'intérieur du village, les anopèles ne se répartissent pas de façon homogène: le quartier Massasso, par rapport au quartier Koko, présente des densités agressives, des taux de parturité et des indices sporozoïtiques supérieurs. Ces observations peuvent s'expliquer par un flux d'imagos de Koko vers Massasso et/ou par des conditions plus favorables aux anopèles à Massasso qu'à Koko, aussi bien pour les stades préimaginaux, entraînant des densités supérieures (5), qu'imaginaux, entraînant des longévités supérieures.

Le taux de parturité d'*A. funestus*, supérieur dans les pièces de capture proches de la rivière, est en accord avec la localisation des gîtes préimaginaux dans la rivière ou à son voisinage et avec une moindre dispersion des femelles pares. Rien de tel n'est observé pour *A. gambiae*, très éclectique dans ses gîtes préimaginaux (19) et pas particulièrement intéressé par la rivière. Pour *A. gambiae* une augmentation de l'âge physiologique est observé au milieu de la nuit; ceci est à mettre en relation avec l'oviposition

crépusculaire de cette espèce (12). Coz (7) observe aussi une augmentation du taux de parturité en capture intradomiciliaire entre 22 h et 02 h, mais cette particularité n'a pas été observée par Giles (11) ni par Hamon (14). Pour *A. funestus*, Choumara *et al.* (4) et Hamon (14) notent un âge physiologique moyen supérieur entre 23 h et 04 h; ces observations vont dans le sens de la nôtre sur un taux de parturité supérieur dans la seconde moitié de la nuit.

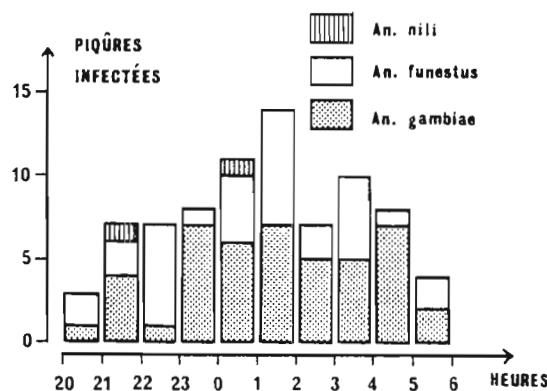


Figure 5.
Evolution horaire du nombre de piqûres infectées de sporozoïtes.
Evolution of the number of sporozoites infected bites from 8 p.m. to 6 a.m.

TABLEAU 6

Résultats des analyses de repas de sang d'anophèles endophiles du village de Karangasso, Burkina Faso. Les *A. gambiae* et les *A. funestus* ont été prélevés les 24 et 26 août et les *A. rufipes* le 23 septembre 1985
Analysis of the blood of the indoors-resting blood-fed mosquitoes in the village of Karangasso, Burkina Faso. The *A. gambiae* and the *A. funestus* were caught on August 24th and 26th and the *A. rufipes* on September 23rd 1985

	Homme	Bœuf	Mouton	Equidé	Autre	Total	Indice d'anthropophilie
<i>A. gambiae</i>	206	0	—	—	1	207	0,995
<i>A. funestus</i>	331	0	—	—	5	336	0,985
<i>A. rufipes</i>	0	2	7	2	5	16	0,000

L'indice sporozoïtique d'*A. gambiae* est supérieur à celui d'*A. funestus*; ceci est classique (15, 23) et concoure, avec une densité supérieure, à conférer à *A. gambiae* la première place dans la transmission du paludisme. *A. funestus* est également un vecteur majeur; il transmet pendant une période plus longue qu'*A. gambiae*. *A. nili* est un vecteur très secondaire (18), négligeable en l'absence de programme de lutte contre le paludisme; l'indice sporozoïtique de cette espèce est semblable à celui trouvé par Service (26) au Nigéria. Dans le village de Karangasso la période constatée de transmission du paludisme est normale pour la région (4, 24) mais la quantité de transmission est supérieure à aucune jamais observée dans la zone considérée. Cette quantité de transmission se situe pourtant logiquement entre celles observée au Sahel (16, 28) et en forêt (17, 8, 2). La transmission est

constatée de fin-juin à mi-décembre mais il est probable qu'elle se maintienne de janvier à mai car nous avons capturé sur sujets humains deux *A. funestus* infectés dans ce même village, le 29 janvier 1985 et le 3 mars 1987. Il n'est donc pas exclu qu'une très faible transmission (h quotidien de l'ordre de 0,01) perdure pendant toute la saison sèche; cette transmission ne peut être décelée avec les techniques entomologiques classiques qu'en disséquant un très grand nombre d'anophèles (4) et ne peut être le fait que d'*A. funestus* car, pendant cette période, le taux de parturité d'*A. gambiae* est très faible et incompatible avec un efficace rôle vecteur.

L'analyse de repas sanguins de moustiques est en accord avec des résultats antérieurs (9, 10). L'indice d'anthropophilie des deux vecteurs majeurs, pratiquement égal à un, laisse penser que tous les sporozoïtes trouvés dans cette étude appartiennent à des *Plasmodium* humain. La zoophilie prédominante d'*A. arabiensis* (30) constitue un argument indirect en faveur de l'absence de cette espèce, ou de son caractère très minoritaire, dans la faune culicidienne agressive pour l'homme dans le village étudié.

6. Conclusion

Cette étude entomologique de la transmission du paludisme intéresse une savane soudanienne africaine traditionnelle, sans référence à une méthode de contrôle du paludisme. Ce village, avec une moyenne annuelle de 244 piqûres par homme, se place au premier rang des villages comparables sur le plan de l'intensité de la transmission. A l'intérieur d'un seul village, des variations importantes de la quantité de transmission sont notées en fonction de nombreux paramètres: quartiers, maisons, heures d'exposition aux piqûres... Il est nécessaire de prendre en considération cette variabilité pour toute tentative de lutte contre le paludisme.

Remerciements — Les auteurs sont redevables de la parfaite assistance technique de Jean-Pierre Kienou et Sanou Mamourou pour les captures de moustiques, de Gianni Petrangeli pour la cytogénétique et de Silvana Bagalino pour la détermination des repas sanguins de moustiques. Ils remercient Jean Coz et Jean Mouchet pour la critique du manuscrit et Daniel Berl pour la traduction anglaise du résumé.

Human malaria transmission in a savanna village of South-West Burkina Faso.

Summary — During a one year period a longitudinal study was carried out in Karangasso, a traditional savanna village in the south-west of Burkina Faso. This study was based on mosquitoes caught on human beings with a total of 216 men-nights.

The anthropophilic mosquitoes caught belong to the *Anopheles*, *Culex* and *Aedes* genera. The two main malaria vectors, *A. gambiae* and *A. funestus* were found all year long with important seasonal variations and represented 69% of all the captures. In the mid rainy season *A. gambiae* had its highest density (ma = number of bites per man per day = 40) two months earlier than *A. funestus* (ma max = 38). *A. nili* was observed in the rainy season with a lower density (ma max = 7) and was a very secondary vector.

In the middle of the rainy season *A. gambiae* sensu stricto represented the only species of the *A. gambiae* complex.

A. gambiae and *A. funestus* anthropophilic indices were respectively 0.995 and 0.985 when there were no bovines and despite the presence of sheep and pigs.

Agressivity, parous rate and sporozoitic index of the *A. gambiae* caught from 11 p.m. to 03 a.m. were higher than at the beginning and at the end of the night. The aggressivity and the parous rate of the *A. funestus* caught after midnight were higher than for those caught before; their sporozoitic index which was lower than the one of *A. gambiae*, did not show such a variation.

Malaria transmission was seasonal from June to December. During this season there was an average of 244 infected bites per man. The extreme transmission values, based on the variations

of mosquitoes caught in different houses, ranged between 75 and 400 infected bites/man/year. Transmission occurred during the whole night, was minimal at both ends of the night and maximal around 01.30 a.m. The rhythm and the mode of transmission observed in this village was representative of those of the other savanna villages; however, transmission was quantitatively higher than in the villages of the same type previously investigated. The possibility of a dry season transmission, when no infected mosquitoes were observed, is discussed.

Menselijke malaria-overdracht in een savannedorp in het zuidwesten van Burkina Faso.

Samenvatting — Er werd een longitudinale studie gedurende één jaar uitgevoerd in een savanne-dorp (in het zuidwesten van Burkina Faso), gebaseerd op het vangen van muggen op mensen.

De belangrijkste malaria-vectoren die werden aangetroffen zijn *Anopheles gambiae* en *A. funestus*, en dit het ganse jaar door, met nochtans belangrijke seizoensverschillen. De maximale densiteit van *A. gambiae* (ma = aantal beten per man per dag = 40) kwam voor in het regenseizoen. Dit is twee maand vroeger dan deze van *A. funestus* (ma = 38). *A. nili* is slechts een secundaire vector.

Malaria-overdracht is seizoensgebonden en grijpt plaats van juni tot december. Elke persoon krijgt gemiddeld 244 geïnfecteerde beten tijdens dit seizoen. De overdracht werd waargenomen alle uren van de nacht. In het begin en op het einde van de nacht is ze minimaal; ze is maximaal rond 1 u. 30. Het bestudeerde dorp kan model staan voor het ritme en voor de bijkomende factoren bij malaria-transmissie in een savannestreek. De malaria-overdracht is hier echter belangrijker dan in geografisch vergelijkbare dorpen. De mogelijkheid van malaria-transmissie in het droge seizoen, tijdens hetwelke er geen geïnfecteerde muggen voorkomen, wordt besproken in het licht van eerder uitgevoerde studies.

Reçu pour publication le 20 mai 1988.

REFERENCES

1. Bekelemishev WN, Detinova TS, Polovodova VP: Determination of physiological age in Anophelines and of age distribution in Anopheline populations in the USSR. Bull. Org. mond. Santé, 1959, 21, 223-232.
2. Carnevale P, Bosseno MF, Zoulani A, Michel R, Molez JF: La dynamique de la transmission du paludisme humain en zone de savane herbeuse et de forêt dégradée des environs nord et sud de Brazzaville, Congo. Cah. ORSTOM, Sér. Ent. méd. Parasitol., 1985, 23, 95-115.
3. Carnevale P, Robert V, Molez JF, Baudon D: Faciès épidémiologiques des paludismes en Afrique subsaharienne. Etudes médicales, 1984, n° 3, 123-133.
4. Choumara R, Hamon JP, Ricosse J, Bailly H: Le paludisme dans la zone antipaludique de Bobo-Dioulasso, Haute-Volta, AOF. Cah. ORSTOM, 1959, n° 1, pp. 123.
5. Christie M: A critical review of the role of the immature stage of anopheline mosquitoes in the regulation of adult numbers with particular reference to *Anopheles gambiae*. Trop. Dis. Bull., 1959, 56, 385-399.
6. Coluzzi M, Petrarca V, Di Deco MA: Chromosomal inversion intergradation and incipient speciation in *Anopheles gambiae*. Bool. Zool., 1985, 52, 45-63.
7. Coz J: Etude des variations de l'âge physiologique d'*A. gambiae* et *A. mascarensis* au cours de captures de nuit. Bull. Soc. Path. exot., 1964, 57, 619-626.
8. Coz J, Hamon J, Sales S, Eyraud M, Brengues J, Subra R, Accrombessi R: Etudes entomologiques sur la transmission du paludisme humain dans une zone de forêt humide dense, la région de Sassandra, Côte d'Ivoire. Cah. ORSTOM, Sér. Ent. méd. Parasitol., 1966, 7, 13-42.
9. Division of malaria eradication, World Health Organisation and Lister Institute of Preventive Medicine: A study of the blood-feeding patterns of *Anopheles* mosquitoes through precipitin tests. Bull. Org. mond. Santé, 1960, 22, 685-720.
10. Garret-Jones C, Boreham PFL, Pant CP: Feeding habits of anophelines in 1971-78, with reference to the human blood index: a review. Bull. Ent. Res., 1980, 70, 165-185.
11. Gilles MT: Age-groups and the biting cycle in *Anopheles gambiae*, a preliminary investigation. Bull. Ent. Res., 1957, 48, 553-559.
12. Haddow AJ, Ssenkubuge Y: Laboratory observations on the oviposition-cycle in the mosquito *Anopheles gambiae*. Ann. Trop. Med. Parasitol., 1962, 56, 352-355.
13. Hamon J: Les moustiques anthropophiles de la région de Bobo-Dioulasso, Haute-Volta. Cycle d'agressivité et variation saisonnière. Ann. Soc. Ent. France, 1963, 132, 85-114.
14. Hamon J: Etude de l'âge physiologique des femelles d'anophèles dans les zones traitées au DDT et non traitées de la région de Bobo-Dioulasso, Haute-Volta. Bull. Org. mond. Santé, 1963, 28, 83-109.

15. Hamon J, Adam JP, Grjebine A: Observations sur la répartition et le comportement des anophèles de l'Afrique équatoriale française, du Cameroun et de l'Afrique occidentale. Bull. Org. mond. Santé, 1956, 15, 549-591.
16. Hamon J, Coz J, Sales S, Ouedraogo CS: Etudes entomologiques sur la transmission du paludisme humain dans une zone de steppe boisée, la région de Dori, Haute-Volta. Bull. IFAN, sér. A, 1965, 27, 1115-1150.
17. Hamon J, Dedewanou B, Eyraud M: Etudes entomologiques sur la transmission du paludisme humain dans une zone forestière africaine, la région de Man, Côte d'Ivoire. Bull. IFAN, sér. A, 1962, 24, 854-879.
18. Hamon J, Mouchet J: Les vecteurs du paludisme humain en Afrique. Méd. Trop., 1961, 21, 643-660.
19. Holstein MH: Biologie d'*Anopheles gambiae*. Recherches en Afrique occidentale française. Org. mond. Santé, Genève, 1952, sér. monographie n° 9.
20. Lombardi S, Esposito F: A new method for identification of the animal origin of mosquito bloodmeals by the immunobinding of peroxylase-anti-peroxylase complexes on nitrocellulose. J. Immuno. Methods, 1986, 86, 1-5.
21. Mouchet J, Carnevale P: Malaria endemicity in the various phytographic and climatic areas Africa South of Sahara. Southeast Asian J. Trop. Med. pub. Health, 1981, 12, 439-440.
22. Orlov VS, Semashko I, Arsenyeva L, Shakhova M, Yefremo V: The concept of stratification of territories and its practical implications. WHO/MAL/1986, n° 1032.
23. Pringle G: A quantitative study of naturally-acquired malaria infections in *Anopheles gambiae* and *A. funestus* in a highly malarious area of East Africa. Trans. R. Soc. trop. Med. Hyg., 1966, 60, 626-632.
24. Robert V, Gazin P, Boudin C, Molez JF, Ouedraogo V, Carnevale P: La transmission du paludisme en zone de savane arborée et en zone rizicole des environs de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. Ann. Soc. belge Méd. trop., 1985, 65, suppl. 2, 201-214.
25. Robert V, Petrarca V, Carnevale P, Coluzzi M: Analyse cytogénétique du complexe *Anopheles gambiae* dans la région de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. A paraître.
26. Service MW: The ecology of the mosquitoes of the northern guinea savannah of Nigeria. Bull. Ent. Res., 1963, 54, 601-633.
27. Stephens JWW: Methods for detecting sporozoites and zygotes in mosquitoes infected with malaria. Bull. Ent. Res., 1911, 2, 1-8.
28. Vercruysse J: Etude entomologique sur la transmission du paludisme humain dans le bassin du fleuve Sénégal, Sénégal. Ann. Soc. belge Méd. trop., 1985, 65, suppl. 2, 171-179.
29. Wéry M: Stratification of malaria areas in Africa; a few examples. WHO/MAL/1986, n° 1003.
30. White GB: *Anopheles gambiae* complex and disease transmission in Africa. Trans. R. Soc. trop. Med. Hyg., 1974, 68, 278-301.
31. White GB, Magayuka SA, Boreham PFL: Comparative studies on sibling species of the *Anopheles gambiae* complexe: bionomics and vectorial activity of species A and B at Segera, Tanzania. Bull. Ent. Res., 1972, 62, 295-317.

Le paludisme urbain à Bobo-Dioulasso (Burkina Faso)

1. Étude entomologique de la transmission

Vincent ROBERT⁽¹⁾, Pierre GAZIN⁽²⁾,
Vincent OUÉDRAOGO⁽³⁾, Pierre CARNEVALE⁽¹⁾

Résumé

La transmission du paludisme a été estimée dans la ville de Bobo-Dioulasso (sud-ouest du Burkina Faso) par une enquête entomologique longitudinale couvrant l'année 1985. La faune culicidienne a été évaluée par la méthode classique en prélevant les femelles agressives de nuit, sur sujets humains.

Les anophèles n'ont représenté que 6,5 % de l'échantillon obtenu. La seule espèce à posséder des effectifs lui accordant une importance épidémiologique est *Anopheles gambiae* s.l. qui représente 95 % de la faune anophélienne capturée. Sa densité agressive pour l'homme (\bar{m}_a) n'est importante qu'en août-septembre-octobre, c'est-à-dire pendant la seconde moitié de la saison des pluies. Elle est variable selon le degré d'urbanisation des quartiers : faible au centre ville (\bar{m}_a annuel de 75 à 300) elle est beaucoup plus importante dans les quartiers périphériques (\bar{m}_a annuel = 2 500).

Le taux de parturité d'*A. gambiae* est de 42 % sur l'ensemble de l'année. L'indice sporozoïtique est de 0,19 (1 positif sur 525 glandes salivaires disséquées).

Il résulte de ces différents indices entomologiques que la transmission est très faible dans la ville de Bobo-Dioulasso. Elle est notable seulement pendant deux à trois mois et varie de 0,14 piqure annuelle infectante par homme (soit une piqure infectante tous les sept ans) dans la zone urbaine à 4,6 piqures infectantes dans la zone suburbaine.

Il faut retenir que dans la zone urbanisée de Bobo-Dioulasso la transmission est plus de 100 fois inférieure à celle que nous avons précédemment constatée dans les villages avoisinants.

Mots-clés : Paludisme — Épidémiologie — Ville — Anophèles — Burkina Faso.

Summary

URBAN MALARIA IN BOBO-DIOULASSO (BURKINA FASO). 1. ENTOMOLOGICAL STUDY OF THE TRANSMISSION. A one year entomological survey was done in 1985 to precise the transmission of human malaria in Bobo-Dioulasso, a town located in the south sudanian savannah of Burkina Faso.

The culicidian fauna was sampled by night catches performed once a week inside bed rooms of human houses. 43 whole night catches (from 8 pm to 6 am) by fly boys catching mosquitoes on their legs were done with four "men-night" each time. The study was done in three districts chosen according to their representativity of the main ecological conditions of a town : the well urbanized dry downtown part ; the central historical part, near the Houet, the permanent river which crosses the town ; and an usual suburban area.

(1) Entomologiste médical ORSTOM, Antenne ORSTOM du Centre Muraz, B.P. 171, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso.

(2) Épidémiologiste ORSTOM, même adresse.

(3) Technicien OCCGE, même adresse.

Culex quinquefasciatus was the largely predominant species with 91 % of the whole sample obtained. We calculated that inhabitants of the most urbanized ward of the town could receive in a year more than 20 000 bites of *C. quinquefasciatus*. This species can therefore be considered as a good marker of the urbanization. The anopheline population was relatively low (6,5 % of the sample) and mainly constituted by *Anopheles gambiae* s.l. which represented 95 % of the whole anopheline population caught while biting men. This species is the main vector of human malaria in Bobo-Dioulasso. In the dry downtown part the annual aggressivity rate was about 75 Q/man while near the permanent river it reached 300 Q/man. In the suburban area the density sharply increased up to an average of 2 500 bites/man/year.

In fact *An. gambiae* is absent the most part of the year but blowed up during the second part of the rainy season (with a maximum of 52 Q/man/night in the suburban area). But *An. gambiae* is present during three months only ; its longevity is reduced (average parity rate : 42 %) so is its infectivity (average sporozoitic index : 0,19 %, $n = 525$).

From these entomological data it clearly appeared that human malaria transmission actually occurred in Bobo-Dioulasso. But it is limited to less than three months ; it is very weak in the dry part of the town (yearly inoculation rate : 0,14 infected bite/man i.e., one infected bite for seven years !). On the other hand malaria transmission is high in suburban area where the inoculation rate reached 4,6 infected bites/man/year.

The present data were then compared to those obtained from the villages surrounding Bobo-Dioulasso. It is showed that, in town, malaria transmission is about 100 times less than in rural area. We can thus conclude that urbanization leads to reduced human malaria transmission.

Key words : Malaria — Epidemiology — Town — Anophelines — Burkina Faso.

Le mouvement d'urbanisation marque par son ampleur les zones tropicales au cours de la seconde moitié de ce siècle (Bruce-Chwatt, 1983). Ce phénomène n'est pas transitoire. Il modifie en profondeur les milieux écologiques et le mode de vie d'une grande partie de l'humanité.

Les problèmes sanitaires rencontrés sont souvent spécifiques et dépendent largement des structures sanitaires qui se mettent en place moins rapidement que les nouveaux quartiers.

Nous avons cherché à avoir une approche aussi globale que possible de l'endémie palustre dans la ville de Bobo-Dioulasso. Cet article concerne la transmission entomologique ; il sera complété par les observations parasitologiques et cliniques (Gazin *et al.*, en préparation).

1. Matériel et méthodes

1.1. LA RÉGION DE BOBO-DIOULASSO

C'est une région de savane arborée située dans la zone méridionale des savanes soudaniennes. Le climat est marqué par l'alternance d'une saison des pluies de mai à octobre et d'une saison sèche de novembre à avril. La moyenne annuelle des précipitations est de 1 100 mm. En 1985, année de notre étude, il est tombé 1 332 mm de pluie. Le maximum des précipitations s'observe en août (fig. 1). La moyenne des températures est de 26,8°C, avec des maximums moyens de 36°C en mars et avril et des minimums moyens de 17°C en décembre et janvier.

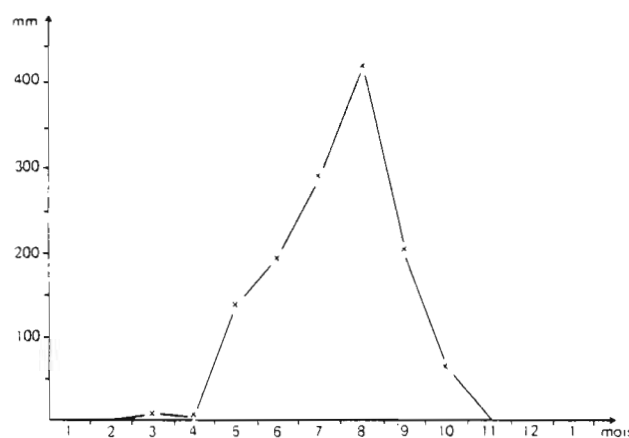


FIG. 1. — Pluviométrie mensuelle à Bobo-Dioulasso en 1985

1.2. LA VILLE DE BOBO-DIOULASSO

C'est une ville qui date de la fin du siècle dernier. Elle a subi un développement important tant en superficie qu'en nombre d'habitants : de 50 000 en 1960 à 230 000 en 1985 (recensement national de décembre 1985).

C'est la seconde ville du pays. Elle constitue un pôle d'activité important pour tout le sud-ouest du Burkina Faso et un carrefour entre Ouagadougou, Abidjan et Bamako.

Elle est traversée en son cœur par un marigot,

Le paludisme urbain à Bobo-Dioulasso. 1

le Houet, à régime torrentiel en saison pluvieuse mais habituellement non asséché en saison sèche.

Les habitants utilisent rarement des protections anticulicidiennes individuelles ; les moustiquaires, quand elles existent, sont réservées aux adultes.

1.3. LES QUARTIERS ÉTUDIÉS (fig. 2)

Ils sont au nombre de trois et ont été choisis en tenant compte de leur représentativité en fonction des différents paysages urbains :

Diaradougou

Situé sur un plateau entre la route de Mopti à l'est, la voie ferrée à l'ouest et le Boulevard de la Révolution au sud, c'est un quartier ancien, bien urbanisé (eau, électricité), où logent 11 000 per-

sonnes. Les rues sont larges et droites, elles délimitent des « carrés ». Des caniveaux creusés à même le sol latéritique permettent à l'eau de s'écouler facilement en saison des pluies.

Dioulassoba

Situé au cœur de la ville, il est délimité par le marigot, le Houet, à l'est, et par un petit affluent à l'ouest. C'est un quartier historique car antérieur à la naissance de la ville. Les maisons sont construites en banco, elles sont imbriquées les unes dans les autres si bien que l'étroitesse des rues n'autorise que la circulation piétonne. 7 000 habitants y vivent.

Colma

C'est un quartier périphérique, situé à la limite nord de la ville. Sa marge septentrionale, Colma-

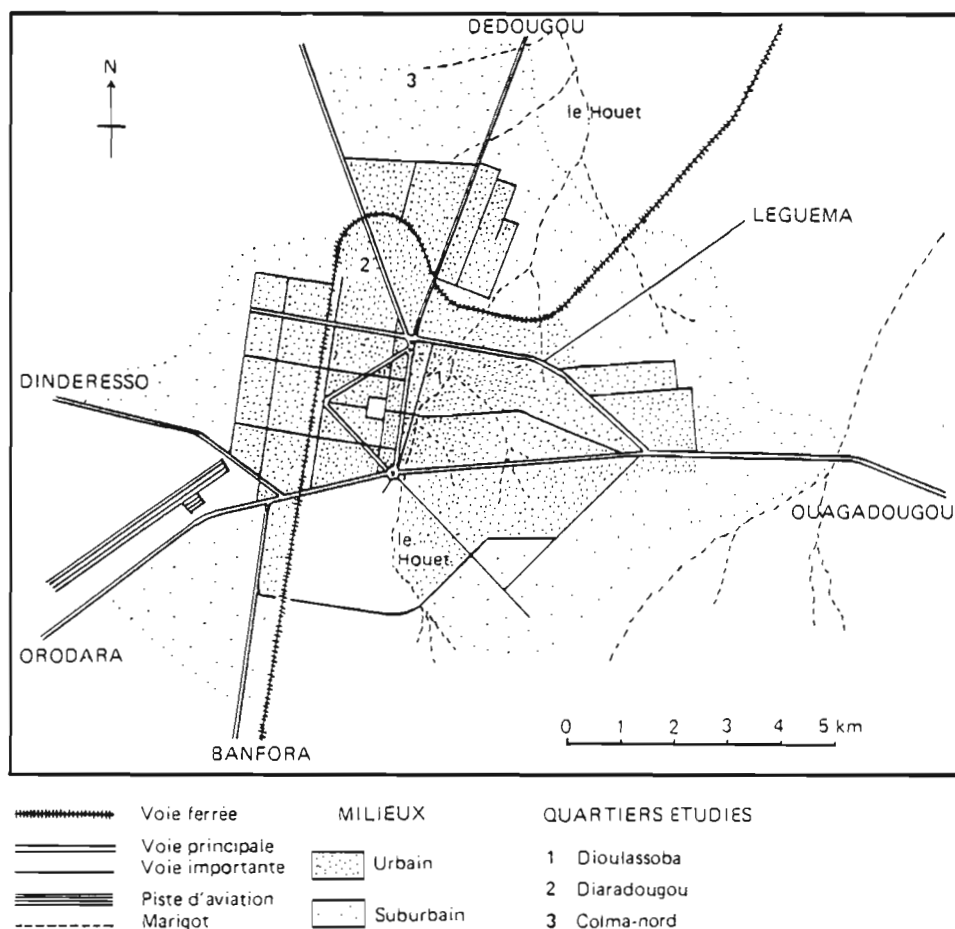


FIG. 2. — Plan de la ville de Bobo-Dioulasso

Nord, retenue pour notre étude, est une zone habitée de manière anarchique, sans plan d'urbanisation. Le dernier arrivé s'installe là où il peut et débute souvent la construction de sa maison sans savoir s'il pourra la finir. 3 000 personnes y résident. Ni l'eau ni l'électricité ne sont distribués. Ce type de quartier, localement dénommé « Sonsoribougou », est répandu en ceinture autour de la ville et en constitue les banlieues.

1.4. LA MÉTHODE D'ÉVALUATION DE LA TRANSMISSION DU PALUDISME

Elle est basée sur la capture de moustiques, par des volontaires expérimentés, sur eux-mêmes, la nuit, dans les maisons. Un captureur, muni d'une lampe torche, est assis jambes nues, il capture dans un tube à hémolyse tous les moustiques qui viennent se poser sur lui. Les captureurs travaillent de 20 h à 1 h pour la première équipe et de 1 h à 6 h pour la seconde.

Quatre chambres à coucher, réparties dans chaque quartier choisi, sont utilisées pour la cap-

ture ; les mêmes servent à chaque passage avec un captureur par chambre. Nous demandons à la famille occupant habituellement chaque maison de conserver son comportement quotidien. Une séance de capture concerne donc quatre « hommes-nuit ». Chaque quartier fait régulièrement l'objet d'une capture toutes les trois semaines.

Peu après avoir été capturés les moustiques sont dénombrés et déterminés. Seuls les anophèles sont disséqués. Les sporozoïtes sont recherchés, à frais, sans coloration, dans les glandes salivaires. L'âge physiologique, c'est-à-dire l'état de parturité ou de nulliparturité, est déterminé sur l'état des trachéoles ovariennes par la méthode de Detinova (1963).

Le taux de parturité est calculé par le rapport du nombre de femelles pares à la somme des femelles pares et nullipares.

2. Résultats

43 nuits de captures, totalisant 172 hommes-nuits, ont été effectuées entre février 1985 et janvier 1986.

TABLEAU I

Effectifs des moustiques par séance de capture, en 1985, dans trois quartiers de la ville de Bobo-Dioulasso

Quartier	Nbre d'hommes - nuits	Spécies Culicidiennes	Mois	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	Total
DIARADOUGOU	56	<i>A. gambiae</i>					1	1			6	6				14
		<i>Cx. quinquefasciatus</i>		-	138	75	96	192	310	393	427	222	298	393	191	3 201
		<i>Ae. aegypti</i>					1		1						-	2
DIOULASSOBA	64	<i>A. gambiae</i>		1		1	2			3	8	17	15	4	2	56
		<i>A. funestus</i>													1	1
		<i>A. pharoensis</i>								2					3	3
COTNA - NORD	52	<i>A. nili</i>									1				1	1
		<i>Cx. quinquefasciatus</i>		131	106	250	392	177	364	460	320	270	184	314	200	4 077
		<i>Ae. aegypti</i>									2	19	5	1		27
		<i>Ae. gr. tarsalis</i>														2
		<i>A. gambiae</i>				1	2		5	17	205	196	30	7	3	465
		<i>A. funestus</i>											3	2	1	7
		<i>A. nili</i>									12		1			13
		<i>A. pharoensis</i>										2				2
		<i>A. coustani</i>										1				1
		<i>Cx. quinquefasciatus</i>		-	16	77	11	33	82	52	114	35	54	35	7	602
		<i>Ae. aegypti</i>									1	1				2
		<i>Ae. hirsutus</i>					1				22	4		2		29
		<i>Ae. gr. tarsalis</i>						6								140
		<i>Ae. fowleri</i>						5			133		1			7
		<i>Ae. luteocephalus</i>														1
		<i>Ae. argenteopunctatus</i>														1
		<i>Man. africana</i>														3
		<i>Man. uniformis</i>											3	1	1	2

Le paludisme urbain à Bobo-Dioulasso. 1

2.1. LA FAUNE CULICIDIENNE

14 espèces de moustiques ont été récoltées (tabl. I) selon des proportions extrêmement variables.

Culex quinquefasciatus représente 91 % des effectifs capturés. Cette espèce, non vectrice, est surtout abondante à Diaradougou (99,5 % des captures) et à Dioulassoba (98 %) qui sont les quartiers les plus urbanisés ; par contre, à Colma, elle est proportionnellement beaucoup moins représentée (47 %). *C. quinquefasciatus* peut donc être considéré comme un marqueur écologique de l'urbanisation (Darriet *et al.*, 1986).

La faune anophélienne ne représente que 6,5 % de la faune culicidienne totale. Cinq espèces d'anophèles sont rencontrées : *Anopheles gambiae* s.l., *A. funestus*, *A. nili*, *A. pharoensis*, *A. coustani*. Avec 95 % des effectifs anophéliens, *A. gambiae* s.l. est l'anophèle le mieux représenté.

2.2. PHÉNOLOGIE DE LA FAUNE ANOPHÉLIENNE

96 % des anophèles sont récoltés en août, septembre et octobre (tabl. I). Cependant l'existence d'un marigot permet aux *A. gambiae* de se maintenir toute l'année à Dioulassoba. Le nombre maximum de piqûres d'*A. gambiae* par homme et par nuit est très variable selon les quartiers : 1,5 à Diaradougou et 4,2 à Dioulassoba (quartiers urbains) ; 51,2 à Colma-Nord (quartier suburbain) (fig. 3).

Au total, pour l'ensemble de l'année, chaque homme est piqué environ 75 fois par des anophèles à Diaradougou ; 300 fois à Dioulassoba et 2 500 fois à Colma-Nord (tabl. II).

2.3. ÂGE PHYSIOLOGIQUE DES ANOPHELES

525 femelles d'*A. gambiae* ont été disséquées (tabl. III). Le taux de parturité moyen est de 42 % avec des variations saisonnières notables : il est de 51 % (sur 233 dissections) en août, 30 % (sur 217) en septembre et 78 % (sur 55) en octobre. Les forts pourcentages de femelles nullipares observés en août et septembre, associés à une densité élevée, sont

TABLEAU II

Nombre annuel de piqûres de moustiques reçues par homme (= $\bar{m}\bar{a}$) dans trois quartiers de la ville de Bobo-Dioulasso

Quartiers	DIARADOUGOU	DIOLASSOBA	COLMA - NORD
Caractéristiques du quartier	ANCIEN CENTRAL URBANISÉ SEC	ANCIEN CENTRAL URBANISÉ AVEC MARIGOT	RÉCENT PÉRIPHÉRIQUE SUB URBAIN
<i>An.gambiae</i>	75	289	2 441
<i>An.funestus</i>	0	5	37
<i>An.nili</i>	0	5	68
<i>An.pharoensis</i>	0	15	10
<i>An.coustani</i>	0	0	5
Total Anopheles	75	300	2 500
<i>Cx.quinquefasciatus</i>	21 000	25 000	4 200
Autres Culicidae	10	180	1 300

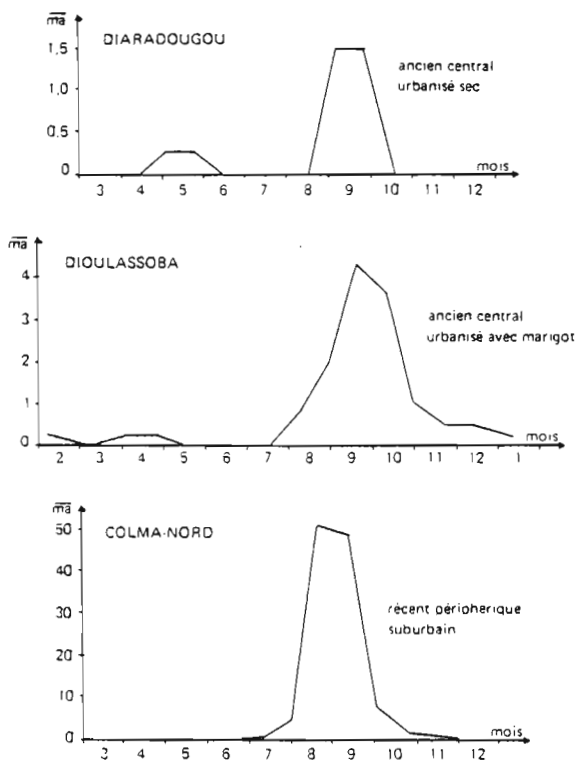


FIG. 3. — Variation des densités d'*Anopheles gambiae* s.l. au cours de l'année 1985 dans trois quartiers de Bobo-Dioulasso. Les densités ($\bar{m}\bar{a}$) sont exprimées en nombre de piqûres par homme et par nuit

révélateurs d'une intense production des gîtes larvaires à cette période de l'année.

Le taux de parturité (T.P.) est également variable selon les quartiers ; pour l'ensemble de l'étude :

- à Diaradougou, 1 femelle est pare et 10 sont nullipares ;
- à Dioulassoba 19 sont pares et 19 nullipares (T.P. = 50 %) ;
- à Colma-Nord, 161 sont pares et 214 nullipares (T.P. = 43 %).

Les effectifs d'*A. funestus* et d'*A. nili* capturés sont trop faibles pour autoriser une analyse, cependant les proportions de pares-nullipares semblent voisines de celles d'*A. gambiae* (tabl. III).

2.4. INFECTION DES ANOPHELES

Sur 525 *A. gambiae* disséqués, un seul, capturé fin août à Colma-Nord, présente des sporozoïtes dans les glandes salivaires (tabl. III). L'indice sporozoïtique général pour *A. gambiae* est donc 0,19 %.

Les 7 *A. funestus* et 13 *A. nili* disséqués sont négatifs (tabl. III).

2.5. TAUX D'INOCULATION

En multipliant l'indice sporozoïtique moyen ($s = 0,19$ %) par le nombre annuel de piqûres d'anophèles (ma) (tabl. II), on obtient, selon les quartiers, les taux annuels d'inoculation (h_e) suivants :

- A Diaradougou : $h_e = 0,14$; soit 1 piqûre infectante en sept ans ;
- A Dioulassoba : $h_e = 0,55$; soit 1 piqûre infectante en deux ans ;
- A Colma-Nord : $h_e = 4,6$; soit 4,6 piqûres infectantes en un an.

3. Discussion et conclusion

Le vecteur majeur du paludisme urbain à Bobo-Dioulasso appartient au complexe *A. gambiae*. Les autres espèces ont des effectifs trop faibles pour prétendre à un rôle épidémiologique notable.

Dans la région deux espèces du complexe *A. gambiae* sont présentes en milieu rural : *A. gambiae* et *A. arabiensis* (Coz, 1973) dans les proportions respectives de 90 % et 10 % (Robert *et al.*, en préparation). Une étude est en cours pour déterminer quelle(s) espèce(s) du complexe est rencontrée en ville.

TABLEAU III

Résultats mensuels des dissections d'anophèles vecteurs capturés dans la ville de Bobo-Dioulasso

mois espèce		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	Total
<i>A. gambiae</i>	capturés	1	0	2	4	0	5	233	225	56	5	2	1	534
	disséqués	1		2	4		5	233	217	55	5	2	1	525
	pare	0		0	0		1	94	59	23	1	2	0	180
	nullipare	0		2	2		1	90	135	11	1	0	1	243
	gld.sal. +	0		0	0		0	1	0	0	0	0	0	1
<i>A. funestus</i>	capturés	0	0	1	0	0	0	0	0	5	2	0	0	8
	disséqués			1						4	2			7
	pare			0						1	0			1
	nullipare			1						3	1			5
	gld.sal. +			0						0	0			0
<i>A. nili</i>	capturés	0	0	0	0	0	0	12	1	1	0	0	0	14
	disséqués							12	0	1				13
	pare							3		1				4
	nullipare							6		0				6
	gld.sal. +							0		0				0

Le paludisme urbain à Bobo-Dioulasso. 1

D'ores et déjà la présente enquête entomologique établit que la transmission du paludisme dans la ville de Bobo-Dioulasso est une réalité.

Dans le centre ville la transmission apparaît à la limite du décelable avec la méthode employée et les moyens mis en œuvre. Les taux d'inoculation ont été calculés avec les valeurs obtenues qui sont relativement précises pour le taux d'agressivité mais beaucoup moins pour l'indice sporozoïtique. En effet avec une glande salivaire positive observée sur 525 disséqués (tabl. III), l'intervalle de confiance à 98,9 % du nombre de glandes salivaires positives est $[0,3]$ (distribution binomiale d'argument $p = 1,83.10^{-3}$ et d'effectif $n = 525$). On en déduit que la transmission réelle en ville est comprise entre 0 (exclus) et trois fois les valeurs proposées (paragraphe 2.5.). Ainsi quels que soit les facteurs correctifs envisagés, la transmission reste très faible.

Deux causes entomologiques expliquent cette situation. D'une part les anophèles sont peu nombreux, du moins dans les quartiers centraux, d'autre part la longévité des anophèles adultes est faible (185 anophèles pares contre 254 nullipares). L'écosystème urbain semble donc largement défavorable aux anophèles.

Coz *et al.* (1962) rapportent que dans les années cinquante *C. quinquefasciatus* était déjà le moustique le plus fréquent dans la ville de Bobo-Dioulasso avec 99 % des captures dans les habitations. *A. gambiae* était l'anophèle le plus fréquemment rencontré. Son indice sporozoïtique était de 8,11 % avant le traitement au DDT et de 0 après. Il était abondant seulement en fin de saison des pluies avec une densité maximale observée en septembre.

A Pikine, ville proche de Dakar, Vercruysse et Jancloes (1981) ont montré que la transmission est nettement plus forte (43 piqûres annuelles infectantes par homme) à cause d'une densité anophélienne nettement supérieure (plus de 7 000 piqûres/homme/an) et aussi du taux de parturité (56 %) et de l'indice sporozoïtique (0,55 %) nettement plus élevés qu'à Bobo-Dioulasso.

A Bobo-Dioulasso une grande hétérogénéité a été observée entre les différents quartiers. Notre étude indique que c'est la disponibilité en gîtes larvaires qui conditionne la densité imaginaire. Effectivement il existe un facteur 33 entre la densité anophélienne du quartier central, sec, sans gîte larvaire convenable, et celle du quartier périphérique où les trous creusés pour extraire la terre utilisée dans la fabrication des briques, constituent des gîtes larvaires à *A. gambiae* très productifs au milieu de la saison des pluies. Cette variabilité entre quartiers est réelle bien qu'il soit probable que les différences dans la transmission entre Diaradougou et Colma-Nord soient les plus importantes observables parmi tous les quartiers de la ville : mais justement les quartiers étudiés ont été choisis en fonction de leurs particularismes.

L'essentiel reste que la transmission entomologique est beaucoup plus faible en ville que dans les environs immédiats. Dans la région de Bobo-Dioulasso, elle varie selon les localités de 50 à 130 piqûres annuelles infectantes par homme (Robert *et al.*, 1985). Ainsi, par rapport à la savane avoisinante, la transmission est au moins dix fois plus faible dans les quartiers périphériques de la ville et au moins 100 fois plus faible dans les quartiers plus centraux.

Ces différences entre les milieux rural et urbain confirment l'importance des facteurs écologiques dans l'épidémiologie du paludisme. A la limite, forcément imprécise, entre ces deux milieux, un gradient s'exprime dans une zone à la fois sous influence rurale et urbaine. Il est la preuve que le faciès urbain est nettement différencié par rapport à la savane voisine dont il est issu. Le faciès urbain de Bobo-Dioulasso permet à une enclave épidémiologique de se constituer et de maintenir la transmission du paludisme à un niveau particulièrement faible. Les stratégies de lutte antipaludique devront prendre en considération ce fait majeur.

Manuscrit accepté par le Comité de Rédaction le 8 avril 1986.

BIBLIOGRAPHIE

- BRUCE-CHWATT (L. J.), 1983. — Paludisme et urbanisation. *Bull. Soc. Path. exot.*, 76 : 243-249.
COZ (J.), 1973. — Contribution à l'étude du complexe *A. gambiae*. Répartition géographique et saisonnière en Afrique de l'Ouest. *Cah. ORSTOM, sér. Ent. méd. et Parasitol.*, 11, 1 : 3-31.

- COZ (J.), ESCUDIÉ (A.) et SALES (P.), 1962. — Rapport sur les moustiques et le paludisme dans Bobo-Dioulasso. Sections Entomologie médicale et Paludisme du Centre Muraz — O.C.C.G.E.
DARRIET (F.), ROBERT (V.) et CARNEVALE (P.), 1986. — Nouvelles perspectives de lutte contre *Culex quinquefasciatus* dans la

- ville de Bobo-Dioulasso (Burkina Faso). Congrès « L'Eau, la Ville et le Développement », I.S.T.E.D., Marseille, 9-11 juin 1986.
- DETINOVA (T. S.), 1963. — Méthodes à appliquer pour classer par groupe d'âge les diptères présentant une importance médicale. Org. mond. Santé, Genève, sér. Monogr. n° 47, 220 p.
- ROBERT (V.), GAZIN (P.), BOUDIN (C.), MOLEZ (J.-F.), OUE-
DRAOGO (V.) et CARNEVALE (P.), 1985. — La transmission du paludisme en zone de savane arborée et en zone rizicole des environs de Bobo-Dioulasso (Burkina Faso). *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, 65, suppl. 2 : 201-214.
- VERCRUYSE (J.) et JANCLOES (M.), 1981. — Étude entomologique sur la transmission du paludisme humain dans la zone urbaine de Pikine (Sénégal). *Cah. ORSTOM, sér. Ent. méd. et Parasitol.*, 19, 3 : 165-178.

La transmission du paludisme humain dans un village au centre de la rizière de la Vallée du Kou, Burkina Faso (1)

Vincent ROBERT

Vincent OUÉDRAOGO

Pierre CARNEVALE (2)

(1) Cette recherche a bénéficié d'une aide financière du Programme spécial de recherche et de formation pour les maladies tropicales PNUD / Banque Mondiale / OMS et de la Commission des communautés européennes.

(2) Antenne ORSTOM du Centre Muraz, B.P. 171, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso.
Adresse actuelle: OCEAC, B.P. 288, Yaoundé, Cameroun.

Résumé

Une étude longitudinale, basée sur la capture de moustiques sur sujets humains, s'est déroulée pendant un an dans le village VK4 implanté au centre du périmètre rizicole de la Vallée du Kou, dans le sud-ouest du Burkina Faso. L'irrigation est sub-permanente dans cette rizière. La nuisance culicidienne est considérable; un homme dormant hors moustiquaire dans ce village reçoit 35 000 piqûres de moustiques par an.

Anopheles gambiae est observé pendant toute l'année; sa densité agressive pour l'homme correspond à 66% de la faune culicidienne agressive totale et présente un maximum en août avec 158 piqûres par homme et par nuit. *A. funestus* est défavorisé par la rizière et sa densité agressive est 43 fois moindre que celle de l'espèce précédente; il est présent d'octobre à février avec un pic de densité en décembre de 11 piqûres par homme et par nuit.

Le taux de parturité (TP) annuel moyen d'*A. gambiae* est 30,4%; il varie entre 0% à la mi-mars et 90% au début-juin. Les variations du TP de cette espèce vont en sens inverse de celles de sa densité. Le TP d'*A. funestus* est stable à 67%.

L'indice sporozoïtique d'*A. gambiae* est 0,285% sur l'ensemble de l'année (sur 7020 dissections) et 0,513% pendant la période de transmission; celui d'*A. funestus* est respectivement 1,0% et 1,4%.

La transmission du paludisme dure un peu plus de quatre mois entre mi-mai et mi-juillet puis entre octobre et mi-décembre. Elle n'a pas été observée lorsque la densité de vecteur potentiel est la plus élevée mais où son TP est le plus faible. Elle est essentiellement le fait d'*A. gambiae* mais aussi, dans une moindre mesure, d'*A. funestus*. Le taux annuel d'inoculation calculé est de 29,8 piqûres d'anophèles infectés par homme. Après une discussion portant sur les indices sporozoïtiques et sur les densités agressives de vecteurs pour la population qui utilise des moustiquaires dans ce village, on estime que le taux annuel d'inoculation est de 20. Ce taux est particulièrement faible pour la zone rurale de la région de Bobo-Dioulasso.

Mots-Clés: Paludisme, transmission, rizière, Afrique.

The transmission of human malaria in a village inside the rice field area of the Kou Valley, Burkina Faso.

Summary

A longitudinal study based on mosquitoes sampled by catches on humans was carried out during one year in the VK4 village located in the centre of the rice growing area of the Kou Valley, in the southwestern Burkina Faso. Irrigation is subpermanent in this rice field and two complete harvests are every year. A man sleeping in this village is subjected to 35 000 mosquito bites per year and therefore mosquitoes are felt as a nuisance by the population which extensively use mosquito nets.

Anopheles gambiae is observed throughout the year except in January which is both the dry season and the interval between two rice growing cycles. It accounts for 66% of the total of mosquitoes aggressive for man and reaches its peak in August where 158 bites per man and per night were recorded. The rice field does not seem suitable for the development of *A. funestus* and its density is 43 times smaller than that of *A. gambiae*; it is observed from October to February with a peak in December of 11 bites per man and per night.

The average annual parity rate of *A. gambiae* amounts to 30.4%. It ranges from 0 (out of 89 dissections) in mid-March to 90% (out of 123) in early June. The variations in the parity rate are in inverse ratio to those of its density. The parity rate of *A. funestus* is stable and amounts to 67%.

The mean sporozoitic index of *A. gambiae* throughout the year is 0.285% (15 positive cases out of 7020 dissections) and reaches 0.513% during the main transmission seasons. The sporozoitic index of *A. funestus* is 1.0% (2 positive cases out of 192 dissections) and, during the transmission, 1.4%.

Malaria transmission occurs during a little more than four months and it takes place between mid-May and mid-July and between October and mid-December. It has not been observed when the vector density is maximum and its parity rate low. It is due mainly to *A. gambiae* and at a lesser extent, to *A. funestus*. The annual inoculation rate amounts to 29.8 infected bites per man. This value is questionable. On one hand the aggressive anopheline density has been calculated on an human being who did not take any protective measures against mosquito bites. But all the inhabitants of this village sleep under nets. In such a way the biting density for the village dwellers was overestimated by the method used. The anthropophilic index of *A. gambiae* amounts to 50%, thus implying that the density of anophelines aggressive for man is close to half of that obtained by catches on humans. On the other hand, the sporozoitic index of anophelines have been obtained by the uncrushed microscopic observation of sporozoites in the salivary glands. However this technique leads to numerous falsely negative observations mainly when the percentage of infected anopheles is low; it is very likely that the sporozoitic indexes have been underestimated. When the latter were obtained with the more sensitive ELISA technique, they were 1.25 times higher than those obtained with the observation of sporozoites. The overestimating and underestimating effects can thus be taken into account in order to correct the inoculation rate and to evaluate it at about 20 infected bites per year and per adult human. This value is particularly low for the rural area around of Bobo-Dioulasso.

Key Words: Malaria, transmission, rice field, Africa.

1. Introduction

Les rizières constituent un type d'aménagement hydro-agricole qui peut être appelé à se multiplier. Elles occasionnent habituellement une pullulation de moustiques, en particulier des anophèles vecteurs potentiels de paludisme. Une étude précédente (Robert *et al.*, 1985) s'est attachée à comparer la quantité de transmission du paludisme dans la rizière de la Vallée du Kou au Burkina Faso et dans la savane classique proche de cette rizière: des différences considérables sont apparues. Cette présente étude n'intéresse plus l'ensemble de la zone rizicole comme c'était le cas pour un travail préliminaire (Robert *et al.*, 1986) mais le seul village VK4 implanté au centre de la rizière; elle propose une approche entomologique de la transmission du paludisme. D'autres articles tenteront d'analyser et d'expliquer pourquoi la transmission observée suit de telles modalités (Robert *et al.*, à paraître).

2. Matériel et méthode

La région étudiée appartient à la marge méridionale des savanes soudaniennes. La saison pluvieuse dure de fin-mai à fin-octobre avec un maximum en août et la saison sèche dure de novembre à avril. Les précipitations annuelles varient autour de 1000 mm; en 1985 elles ont été de 1332 mm. Les maxima thermiques moyens de mars et d'octobre furent respectivement 30,8° et 27,3° (fig.1).

La zone rizicole de la Vallée du Kou est située à 30 km au nord de Bobo-Dioulasso dans le sud-ouest du Burkina Faso. Elle est aménagée en rizière depuis 1970. Mille hectares d'un seul tenant sont irrigués avec l'eau détournée de la rivière Kou qui permet deux récoltes de riz par an. Douze mille personnes vivent dans sept villages situés au milieu ou en périphérie du périmètre. Le village VK4 (Vallée du Kou numéro quatre) est implanté au centre de la rizière; il abrite 900 personnes dont 65% appartiennent à l'ethnie Mossi.

Les moustiques ont été récoltés par des captures nocturnes sur sujets humains (protégés du paludisme et de la fièvre jaune), à l'intérieur de maisons. Les pièces où ont été effectuées ces captures servent de chambres à coucher; elles sont au nombre de huit et sont réparties dans l'ensemble du village.

Une équipe de quatre captureurs a travaillé de 20h à 01h puis une autre équipe de 01h à 06h dans quatre pièces de capture. La nuit suivante la même enquête a été répétée dans les quatre autres pièces. Ces deux nuits de capture ont été effectuées régulièrement tous les 14 jours pendant un an.

La détermination spécifique des moustiques capturés et la dissection des vecteurs potentiels de paludisme ont été faites au laboratoire le matin de la capture. L'âge physiologique a été précisé sur l'aspect des trachéoles ovariennes; ceci a permis de calculer le taux de parturité qui désigne le rapport du nombre de femelles pares sur l'ensemble des femelles pares et nullipares. La présence de sporozoïtes dans les glandes salivaires a été recherchée à frais, sans coloration ni écrasement.

3. Résultats

Au total 19 967 moustiques femelles ont été capturés au cours des 52 nuits de capture faites du 12 mars 1985 au 26 février 1986, regroupant 208 hommes-nuits. La densité culicidienne annuelle agressive est 35 038 piqures par homme soit 96,0 piqures par homme et par nuit.

16 479 anophèles (soit 82% des moustiques) dont 13 773 anophèles vecteurs (soit 84% des anophèles et 69% des moustiques) ont été capturés (tab.1). Ces anophèles vecteurs appartiennent à *Anopheles gambiae*, *A. funestus* et *A. nili*. Cette dernière espèce sera négligée par la suite à cause de sa très faible densité et seuls seront considérés *A. gambiae* et *A. funestus*.

Les individus endophiles du complexe *A. gambiae* à VK4 appartiennent pour 3,6% à *A. arabiensis*, largement zoophile, et pour 96,4% à l'espèce *A. gambiae* (Robert *et al.*, 1989): aussi dans cette étude qui ne concerne que des spécimens capturés sur sujets humains, l'ensemble des spécimens groupés sous la dénomination d'*A. gambiae s.l.* concerne-t-il quasi exclusivement *A. gambiae s.s.*

3.1. La densité agressive pour l'homme (ma).

A. gambiae est présent pendant presque toute l'année à une densité importante puisqu'il représente à lui seul 66% de l'effectif de moustiques capturés et que le **ma** quotidien moyen est de 64,6. Les pics de densité sont notés en mars (**ma** quotidien = 88) et en août (**ma** = 158) au moment où la rizière est mise en eau pour le repiquage des jeunes pousses de riz (fig.2). Les densités les plus faibles s'observent en saison sèche de mi-décembre à fin-janvier au moment où la rizière est asséchée entre deux cycles culturels et où la plupart des autres gîtes larvaires de cette espèce ne sont pas fonctionnels.

A. funestus est présent seulement d'octobre à février avec un **ma** quotidien moyen de 1,5 et un maximum début-décembre (**ma** quotidien = 11). Il ne représente que 1,6% de l'ensemble des moustiques et 1,9% des anophèles capturés. Cette rizière ne semble pas favorable à son développement.

3.2. Les taux de parturité (TP).

Le **TP** annuel moyen d'*A. gambiae* est de 30,4% (1 836 paires et 4 202 nullipares). Le **TP** moyen pendant la période où des anophèles sont infectés est de 39,4% (970 paires et 1 489 nullipares). Le **TP** croît régulièrement de 0 début-mars (0 paire et 89 nullipares) jusqu'à 90% (119 paires et 14 nullipares) début juin; entre la mi-juillet et la fin-septembre il est de 20,0% en moyenne et varie peu (entre 32% et 14%); il réaugmente jusqu'à 68% fin-novembre et il se maintient probablement assez élevé (9 paires et 3 nullipares) jusqu'à début-février où il est de 67%; il diminue à 21% fin-février (fig.2). Les variations du **TP** vont dans le sens inverse de celles de la **ma**.

Le **TP** d'*A. funestus* est de 67% (120 paires et 58 nullipares) et ne présente pas de variations particulières.

3.3. Les indices sporozoïtiques (s).

Sur un total de 7 020 *A. gambiae* disséqués 15 sont porteurs de sporozoïtes dans leurs glandes salivaires; **s** = 0,285%. Considérant les seules captures de mi-mai à fin-juillet et de début-octobre, où des anophèles sont trouvés infectés, **s** = 0,513% (2 922 examens).

Pour *A. funestus* **s** = 1,0% (2 positifs sur 192 examens) pour l'ensemble de l'année et 1,4% pour les captures où des anophèles sont infectés.

3.4. Les taux d'inoculation entomologique ($h = ma \cdot s$)

Alors que des anophèles sont rencontrés toute l'année, la transmission du paludisme est exclusivement observée pendant deux périodes, de mi-mai à fin-juillet et de début-octobre à mi-décembre, soit un total de cinq mois; pendant le reste de l'année aucun anophèle infecté n'a été récolté (fig.2). Le **h** annuel d'*A. gambiae* et d'*A. funestus* est respectivement 26,3 et 3,5 soit au total 29,8 piqûres d'anophèles infectés par homme et par an. Cette valeur équivaut à un taux quotidien d'inoculation de 0,082 pour l'ensemble de l'année et de 0,20 pour les cinq mois de transmission.

4. Discussion

Le nombre de piqûres reçues par homme a été obtenu avec la méthode classique des captures de moustiques sur sujets humains normalement accessibles aux moustiques. Or dans la rizière de la Vallée du Kou où la nuisance culicidienne est très élevée, l'usage des moustiquaires est généralisé; dans le village VK4 tous les habitants dorment sous moustiquaires pendant toute l'année et ceci doit être pris en compte dans l'estimation du nombre de piqûres d'anophèles effectivement reçues par chaque membre de la communauté. Il est très difficile d'apprécier directement l'effet des moustiquaires sur la réduction du nombre de piqûres surtout lorsque varient la nature du tissu, le niveau d'entretien et le mode d'utilisation. Le taux d'anthropophilie du vecteur principal *A. gambiae* est faible à VK4 et varie autour de 0,50 (Robert *et al.*, à paraître). En faisant l'hypothèse que les anophèles de cette espèce qui prennent leur repas de sang sur des animaux ont été détournés des hommes à cause des moustiquaires on peut estimer à 50%

l'efficacité globale des moustiquaires et donc la densité d'anophèle par homme serait la moitié de celle obtenue.

Les indices sporozoïtiques ont été obtenus après la dissection des glandes salivaires des anophèles et la recherche microscopique de sporozoïtes. Une telle méthode présente une grande facilité de réalisation sur le terrain mais procure des faux négatifs d'autant plus fréquemment que les indices sporozoïtiques sont faibles. L'analyse par la technique ELISA de Verhave *et al.* (1987) d'une fraction des anophèles récoltés durant cette étude a montré que la dissection révélait 80% des positifs en ELISA (Boudin *et al.*, 1988). Les indices sporozoïtiques seraient donc légèrement supérieurs à ceux obtenus.

Ces principaux facteurs de sous-estimation et de sur-estimation du taux d'inoculation entomologique peuvent être pris en compte; le nombre annuel de piqûres infectées reçues par adulte devrait donc être corrigé à une valeur voisine de 20. D'après Carnevale *et al.* (1978) ce nombre serait plus faible de 33% chez les enfants (soit 13 piqûres annuelles infectées) et plus faible de 66% chez les bébés (soit 7 piqûres annuelles infectées).

La quantité de transmission dans ce village est particulièrement faible pour la zone rurale des environs de Bobo-Dioulasso où le taux annuel d'inoculation varie entre 55 et 250. Elle est la plus faible enregistrée, même dans les autres villages de cette rizière; en particulier, dans les villages de la périphérie de la zone rizière ce taux est de 60 (Robert *et al.*, 1985 et 1988).

Dans cette rizière en 1980 et 1981 plus de 6000 glandes salivaires d'*A. pharoensis* agressifs pour l'homme ont été examinées; toutes étaient négatives en sporozoïtes (Hervy *et al.*, 1981). Cette espèce n'est donc pas vectrice dans cette rizière.

La répartition de la transmission sur deux saisons est caractéristique de cette zone rizière et liée aux deux cycles de culture du riz à l'origine de la majorité des gîtes larvaires des vecteurs. Elle diffère profondément de la transmission répartie sur une seule saison dans les villages de cultures pluviales où les gîtes larvaires sont liés au régime des pluies.

Lorsque la densité agressive pour l'homme est maximale en août et septembre, aucun anophèle n'a été trouvé infecté; ceci est évidemment lié avec le taux de parturité (20%) particulièrement bas pendant cette période. Outre la faiblesse de ce taux de parturité plusieurs autres arguments sont en faveur d'une absence de transmission à cette saison: l'intensité de transmission est décroissante en juillet et croissante en octobre, 2666 glandes salivaires négatives ont été examinées au microscope à partir d'*A. gambiae* récoltés pendant 10 nuits de captures consécutives, enfin *A. funestus* n'est pas observé à cette époque. Il n'existe pas ici de rapport direct entre la transmission de paludisme et la densité de vecteur. Ce fait que la densité de vecteur peut ne pas être le facteur le plus important pour influencer la transmission du paludisme, a déjà été remarqué par d'autre auteur (Coosemans, 1985; Burkot, 1988). Dans un tel contexte il n'est pas évident qu'une réduction de la densité de vecteur, notamment due à des mesures de lutte, se traduise par une baisse de la transmission.

Remerciements: L'ensemble de la section Entomologie du Centre Muraz est remerciée pour l'excellence de son travail tout au long de cette étude; l'assistance technique de Kienou Jean-Pierre, Sanou Mamourou, Barro Balaji et Dabré David sur le terrain et au laboratoire a particulièrement été appréciée. Jean Mouchet est remercié pour sa lecture critique du manuscrit.

BIBLIOGRAPHIE

BOUDIN (C.), ROBERT (V.), VERHAVE (J.-P.), CARNEVALE (P.) & MEUWISSEN (J.H.E.T.), 1988.- Utilisation de la technique ELISA dans le dépistage des moustiques infectés par *Plasmodium falciparum*. *Bull. Org. mond. Santé*, 66: 87-97.

BURKOT (T.R.), 1988. - Non-random host selection by anopheline mosquitoes. *Parasitol. Today*, 4: 156-162.

CARNEVALE (P.), FREZIL (J.-L.), BOSSENS (M.-F.), LE PONT (F.) & LANCIEN (J.), 1978.- Etude de l'agressivité d'*Anopheles gambiae* A en fonction de l'âge et du sexe des sujets humains. *Bull. Org. mond. Santé*, 56: 147-154.

COOSEMANS (M. H.), 1985.- Comparaison de l'endémie malarienne dans une zone de riziculture et dans une zone de culture de coton dans la plaine de la Ruzizi, Burundi. *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, 65, Suppl.2: 187-200.

HERVY (J.-P.), LEGROS (F.) *et al.*, 1981.- Evaluation entomologique de deux thérapeutiques antipalustres à la chloroquine - prophylaxie chez les enfants de moins de 14 ans, traitement systématique de tous les accès fébriles - mises en place dans les villages de la région de Bobo-Dioulasso (Haute-Volta). *Doc. Tech. O.C.C.G.E.* n° 7651 / 81 et n° 7849 / 81.

ROBERT (V.), CARNEVALE (P.), OUEDRAOGO (V.), PETRARCA (V.) & COLUZZI (M.), 1988.- La transmission du paludisme humain dans un village de savane du sud-ouest du Burkina Faso. *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, 68: 107-121.

ROBERT (V.), GAZIN (P.), BOUDIN (C.), MOLEZ (J.-F.), OUEDRAOGO (V.) & CARNEVALE (P.), 1985.- La transmission du paludisme en zone de savane arborée et en zone rizicole des environs de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, 65, Suppl.2: 201-214.

ROBERT (V.), PETRARCA (V.), CARNEVALE (P.) & COLUZZI (M.), 1986.- Le particularisme de la transmission du paludisme dans la zone rizicole de la Vallée du Kou (Burkina Faso); l'apport de l'étude cytogénétique des vecteurs à l'épidémiologie. *Parassitologia*, 28: 327-329.

ROBERT (V.), PETRARCA (V.), CARNEVALE (P.), OVAZZA (L.) & COLUZZI (M.), 1989.- Analyse cytogénétique du complexe *Anopheles gambiae* dans la région de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. *Ann. Parasito. hum. comp.* (sous presse).

ROBERT (V.), PETRARCA (V.), COLUZZI (M.), BOUDIN (C.) & CARNEVALE (P.) - Etude sur les taux d'infection du complexe *Anopheles gambiae* dans la rizière de la Vallée du Kou, Burkina Faso. (à paraître).

VERHAVE (J.-P.), LEENWENBERG (A.D.E.M.), PONNUDURAI (T.), MEUWISSEN (J.H.E.T.) & VAN DRUTEN (J.A.M.), 1988.- The biotine streptavidine system in a two-site ELISA for the detection of plasmodial sporozoite antigen in mosquitoes. *Parasite Immunology*, 10: 17-31.

Anopheles		Mansonia		Culex		Aedes	
gambiae	13449	uniformis	1070	quinquefasciatus	877	luteocephalus	4
pharoensis	2412	africana	932	poicilipes	222	hirsutus	3
funestus	312			univittatus	193	fowleri	3
coustani	291			antennatus	70	gr. tarsalis	2
nili	12			gr. descens	5	furcifer	1
rufipes	1			annulioris	4	aegypti	1
flavicosta	1			tigripes	1		
squamosus	1						

Tableau 1: Total par espèces des moustiques récoltés pendant un an, en captures de nuits sur sujets humains dans le village VK4.

Total by species of mosquitoes collected on men during a one year period of night catches in village VK4.

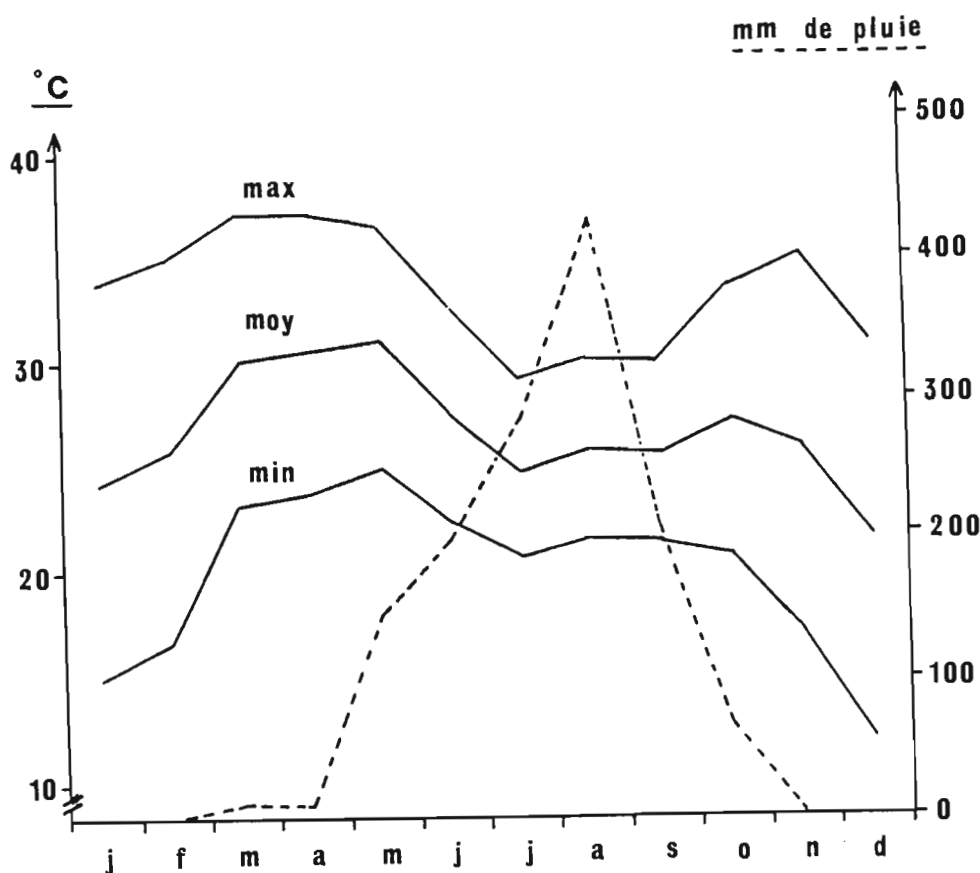


Figure 1: Températures et quantités de pluies enregistrées mensuellement en 1985 dans la zone rizicole de la Vallée du Kou (station climatologique du village VK1).

Monthly temperatures and rainfalls recorded in 1985 in the rice field area of Kou Valley.

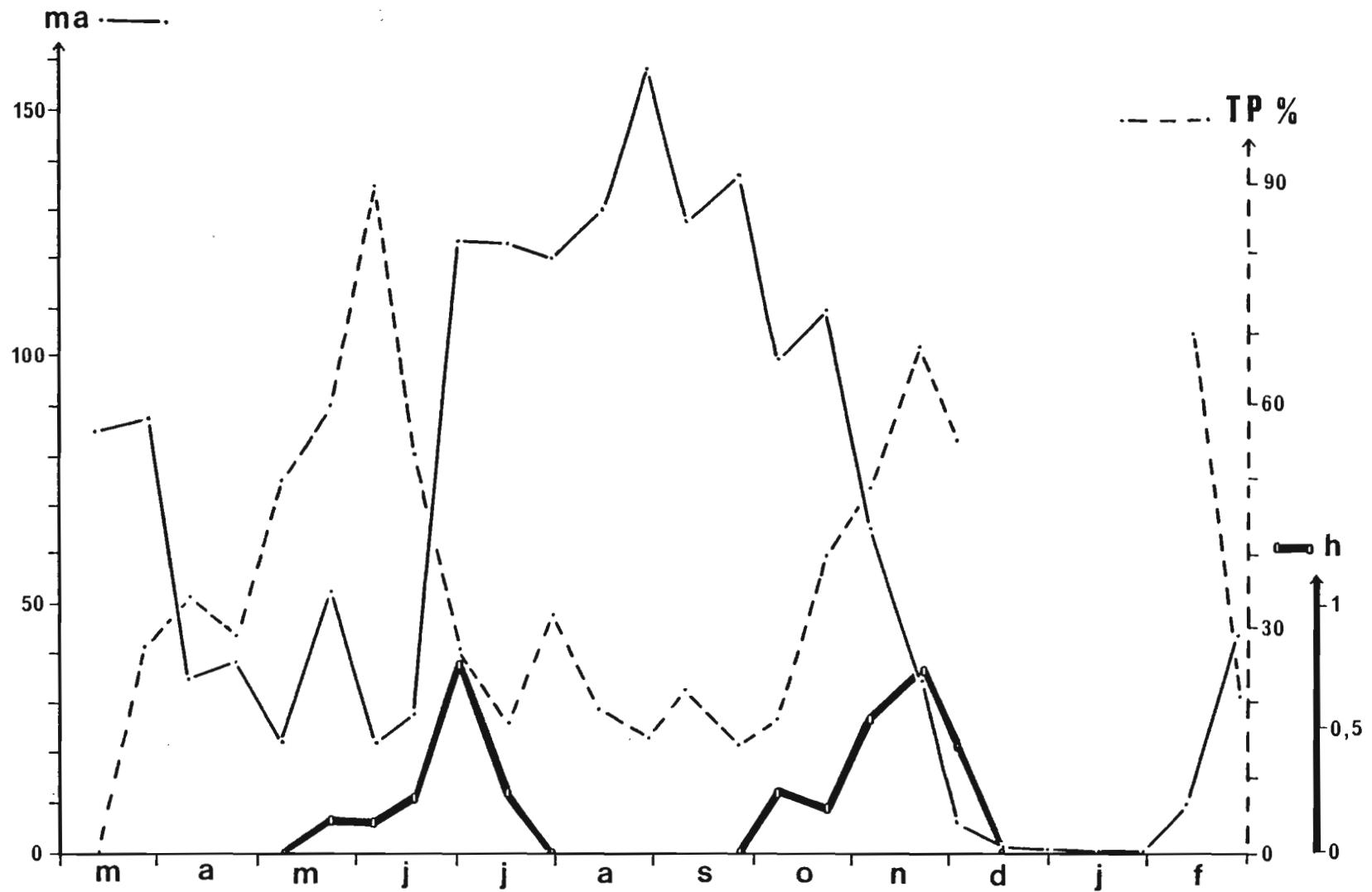


Figure 2: Evolution entre mars 1985 et février 1986 de la densité quotidienne agressive pour l'homme (ma) et du taux de parturité (TP) des *Anopheles gambiae* s.l. et taux quotidien d'inoculation (h) dans le village VK4, au centre de la zone rizicole de la Vallée du Kou (Burkina Faso).

Evolution from March 1985 to February 1986 of the daily aggressive density for man (ma) and of the parturity rate (TP) of *Anopheles gambiae* s.l. and daily inoculation rate (h) in the village VK4, in the centre of the rice field area of Kou Valley (Burkina Faso).

Etude sur les taux d'infection du complexe *Anopheles gambiae* dans la rizière de la Vallée du Kou, Burkina Faso (1)

Vincent ROBERT (2)

Vincenzo PETRARCA (3)

Mario COLUZZI (3),

Christian BOUDIN (2)

Pierre CARNEVALE (2).

(1) Cette recherche a bénéficié d'une aide financière du Programme spécial de recherche et de formation pour les maladies tropicales PNUD / Banque Mondiale / OMS et de la Commission des Communautés Européennes.

(2) Antenne ORSTOM du Centre Muraz, B.P.171, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. Adresse où sont à demander les tirés-à-part: OCEAC, B.P.288, Yaoundé, Cameroun.

(3) Istituto di Parassitologia, Università di Roma "La Sapienza", Piazzale A. Moro 5, 00185 Roma, Italia.

Résumé:

Dans le périmètre rizicole de la Vallée du Kou au Burkina Faso la transmission du paludisme humain paraît anormalement faible par rapport à la densité de vecteur du complexe *Anopheles gambiae*. Une étude a été menée pendant cinq ans afin de tenter de saisir les causes de ce particularisme. Elle a mis en évidence plusieurs facteurs relatifs aux hommes et aux vecteurs qui concourent à expliquer le faible indice sporozoïtique des *A. gambiae* agressifs pour l'homme.

L'existence de la rizière crée un microclimat qui est sensiblement plus chaud pendant la plus grande partie de la saison de transmission que dans la région alentour: l'hypothèse d'un ralentissement du cycle extrinsèque du *Plasmodium* est rejetée.

Motivée par une nuisance culicidienne exceptionnellement élevée, la majorité de la population dort sous moustiquaire limitant ainsi le taux d'inoculation pour l'homme et l'accessibilité au réservoir infectant pour le moustique. De plus l'indice gamétocytaire est particulièrement bas parmi les habitants de la rizière.

Les espèces *A. gambiae* et *A. arabiensis* sont sympatriques pendant toute l'année. *A. gambiae*, seul vecteur confirmé, possède une capacité vectorielle très supérieure à celle d'*A. arabiensis*. La forme chromosomique Mopti d'*A. gambiae* est toujours majoritaire et est le principal taxon vecteur. La faiblesse de la transmission du paludisme ne semble pas pouvoir être attribuable à une mauvaise aptitude vectrice de cette forme. La forme chromosomique Savane d'*A. gambiae* est très peu représentée sauf dans les villages de la périphérie de la rizière, au milieu de la saison pluvieuse. *A. arabiensis* présente une

fréquence maximale au début de la saison sèche où il représente 23% des effectifs du complexe; il est mieux représenté dans les villages de la périphérie que dans ceux du centre.

L'indice d'anthropophilie d'*A. gambiae* est bas. Une importante déviation trophique est observée sur les animaux domestiques, en particulier sur les bœufs et même sur les moutons qui dorment dans le village. Cette déviation trophique des *A. gambiae s.l.* est plus marquée pour les moustiques âgés que pour les nullipares. Le taux de parturité (TP) d'*A. gambiae s.l.* gorgés avec du sang de bœuf est supérieur au TP de ceux gorgés avec du sang d'homme, lui-même supérieur au TP de ceux gorgés avec du sang autre que de bœuf ou d'homme. L'âge moyen de la fraction d'*A. gambiae* agressive pour l'homme est donc particulièrement jeune et son taux d'infection est bas.

L'âge moyen des *A. gambiae* anthropophiles est lié avec l'inverse de leurs densités. Des hypothèses sont avancées pour interpréter ce phénomène particulier.

Mots-Clés: paludisme, épidémiologie, rizière, *Anopheles gambiae*, âge physiologique.

About the infection rates of *Anopheles gambiae* complex in the rice field of the Kou Valley, Burkina Faso

Summary

Human malaria transmission levels in the rice growing area of Kou Valley (Burkina Faso) are low, though *Anopheles gambiae* complex densities are high. A five years study showed several man and vector-related factors affecting the low sporozoitic indices of the *A. gambiae* which bit man.

The rice field area showed a warmer microclimate as compared to the neighbouring zone during most of the transmission period: this make it impossible to support the hypothesis of a slow-down of the sporogonic cycle of *Plasmodium*.

The great pest due to mosquitoes led most of the population to sleep under bed nets, thus limiting the inoculation rate for man and the accessibility to infective men for the uninfected mosquitoes. Moreover, among the inhabitants of the rice field the gametocytic index was particularly low.

The species *A. gambiae* and *A. arabiensis* were sympatric through the years. *A. gambiae* which was the only effective vector showed a vectorial capacity much higher than *A. arabiensis*. The chromosomal form Mopti of *A. gambiae* was always prevalent and was the main vector taxa. The chromosomal form Savanna of *A. gambiae* was fairly

rare except in the villages at the borders of the rice field in the middle of the rainy season. The vectorial ability of these two chromosomal forms apparently was not different. *A. arabiensis* frequency was maximum (23% of the *A. gambiae* complex) at the beginning of the dry season; it was more frequent in the villages at the borders of the rice field area.

The anthropophilic index of *A. gambiae s.l.* was low. A remarkable shift of biting activity was observed on domestic animals, particularly on bovid and even on sheep which slept dispersed inside the villages. This shift was higher for aged mosquitoes. Parous rate of bovid-fed fraction of *A. gambiae s.l.* was higher as compared to the man-fed fraction; parous rate of both fractions was higher than the one of the fraction fed on animals other than bovids or men. The age of man-biting *A. gambiae s.l.* fraction was particularly low as well as its infection rate. Moreover the mean age of anthropophilic *A. gambiae s.l.* showed an inverse ratio with their densities. Hypotheses to interpret this phenomenon are proposed.

Key Words: malaria, epidemiology, rice field, *Anopheles gambiae*, physiological age.

1. Introduction

L'aménagement vers 1970 de la zone rizicole de la Vallée du Kou a bouleversé le milieu. L'irrigation sub-permanente a permis la pullulation de nombreuses espèces de moustiques, en particulier celles du complexe *Anopheles gambiae* qui assurent le rôle de vecteur majeur du paludisme humain (Robert *et al.*, 1985). De nombreuses études parasitologiques sur les habitants du périmètre rizicole ont montré que les indices étaient plus faibles qu'en savane classique. Ces résultats inattendus et paradoxaux en première analyse ont motivé des recherches complémentaires.

2. Description de la zone rizicole et rappel des résultats antérieurs

La région de l'étude appartient à la marge méridionale des savanes soudaniennes. Le climat est caractérisé par l'alternance de deux saisons très contrastées qui se succèdent sans véritable transition. La saison pluvieuse dure de début mai à fin octobre avec un maximum de précipitation en août. La saison sèche dure de novembre à avril. Les précipitations annuelles varient autour de 1000 mm (1332 mm en 1985). Décembre et janvier sont les mois les plus frais (température moyenne de 24,4° en janvier); mai et octobre sont les plus chauds (respectivement 30,8° et 27,3°) et encadrent la période où les précipitations sont les plus abondantes (Robert *et al.*, à paraître b).

Le périmètre rizicole de la Vallée du Kou est situé à 30 km au nord de Bobo-Dioulasso, métropole du sud-ouest du Burkina Faso, sur la route goudronnée qui joint Bobo à Bamako et Mopti. 1000 hectares d'un seul tenant sont irrigués presque en permanence avec l'eau détournée de la rivière Kou et amenée dans la rizière par un large canal cimenté (Carnevale & Robert, 1987). Quelques 12000 personnes vivent dans cette zone et sont en majorité des migrants volontaires et originaires des plateaux Mossi. Les cultivateurs sont regroupés en une coopérative de production qui veille au respect du calendrier de culture et qui décide des périodes et des débits d'irrigation. Ils habitent dans six villages désignés par un numéro de 1 à 6 et précédés des lettres VK (ex: VK6 pour le village Vallée du Kou numéro six); un septième Bama est ancien mais a été transformé par la rizière. Les villages VK1 et VK5 sont situés à la périphérie du périmètre et VK4 est situé en son centre (fig.1). Tous les arbres ont été arrachés et d'autres ont été plantés à l'intérieur des villages. Le plus grand nombre de maisons sont parallélépipédiques avec murs de banco et toit en tôle métallique; d'autre, plus petites, sont circulaires avec murs de banco et toit de paille.

En principe un traitement insecticide pour lutter contre les ravageurs du riz a lieu juste après le repiquage et est renouvelé deux semaines plus tard. De l'avis des responsables ces traitements ne couvrent pas toutes les parcelles. Ils n'entraînent aucune conséquence nette sur la densité des moustiques.

Deux cycles de riziculture ont lieu par an, l'un en saison pluvieuse de juillet à novembre et l'autre, en partie en saison sèche, de janvier à juin; entre deux cycles l'irrigation est stoppée et la rizière asséchée. Les modifications des caractéristiques des gîtes larvaires découlant des différentes phases de chaque cycle occasionnent une succession dans la production des trois principaux anophèles rencontrés dans cette rizière: *Anopheles gambiae s.l.* exploite le premier la rizière dès la mise en eau, pendant le repiquage et jusqu'à la montaison des jeunes pousses; le maximum de densité d'*A. pharoensis* est observé lors de l'épiaison du riz; celui d'*A. coustani* est observé lors de la maturation du riz et pendant la période d'assèchement de la rizière qui précède la récolte. Ceci est vérifié lors des deux cultures de riz, celle de saison sèche comme celle de saison pluvieuse (Robert *et al.*, 1988).

Alors que la riziculture est favorable à certaines espèces anophéliennes elle est défavorable à d'autres; ainsi *A. funestus* est pratiquement absent du périmètre.

A. gambiae et *A. arabiensis* sont normalement rencontrés dans le sud-est du Burkina Faso. Alors qu'*A. arabiensis* est formé par une seule population, *A. gambiae* regroupe deux populations partiellement isolées, identifiables par leurs arrangements chromosomiques: la forme chromosomique Mopti est caractérisée par 2Rbc et 2Ru et la forme chromosomique Savane par 2Rb et, dans une moindre mesure, par 2Rd. Aucune différence morphologique ne distingue ces deux formes (Di Deco *et al.*, 1983). Dans la

rizière de la Vallée du Kou *A. gambiae* est majoritaire avec 88% des effectifs endophiles du complexe; *A. arabiensis* (12% du complexe) est cinq fois mieux représenté en périphérie qu'au centre de la rizière. Au milieu de la saison pluvieuse, dans les villages du centre de la rizière, la fraction endophile diurne du complexe est constituée à 97% d'*A. gambiae* Mopti (Robert *et al.*, à paraître c).

Le principal vecteur de paludisme humain dans la zone rizicole est *A. gambiae s.l.*. Sa densité agressive pour l'homme est élevée presque toute l'année (24000 piqûres annelles par homme à VK4). Le taux de parturité des *A. gambiae s.l.* agressifs pour l'homme est généralement bas (54% pour un village de la périphérie de la rizière et 40% pour un village central) et atteint 14% en août à VK4 alors que la densité agressive est maximale (160 piqûres quotidiennes par homme). Les indices sporozoïtiques sont également faibles (0,5% pour l'ensemble de l'année). La transmission s'effectue sur un mode bimodal de mai à juillet et d'octobre à décembre; au maximum cinquante piqûres infectées sont comptabilisées annuellement pour un homme qui ne prend pas de précaution contre les moustiques. Dans le village VK4 où de telles précautions sont prises, le taux annuel d'inoculation a été estimé à 20 (Robert *et al.*, à paraître b). Ce faible taux d'inoculation entomologique relativement à la région de Bobo-Dioulasso concourt à expliquer pourquoi les indices parasitologiques des habitants de la zone rizicole sont moins élevés que ceux des villages de la savane avoisinante. Il est aussi acquis que la faiblesse de la transmission est due à la basse fréquence des vecteurs porteurs de sporozoïtes (Robert *et al.*, 1986). Mais il reste à expliquer pourquoi parmi la population d'*A. gambiae* agressif pour l'homme l'indice sporozoïtique et surtout le taux de parturité sont si faibles.

3. Matériel et méthode

Trois techniques de capture de moustiques ont été utilisées. Les moustiques agressifs pour l'homme ont été capturés la nuit sur sujets humains (protégés du paludisme par une chimioprophylaxie) placés à l'intérieur ou à l'extérieur des maisons; les captureurs prélèvent les moustiques qui se posent sur leurs jambes dénudées. Les moustiques agressifs pour le bœuf ont été capturés à l'aide d'un aspirateur à bouche, la nuit au moment de leur piqûre sur tout le corps du bœuf, à l'extérieur des maisons mais à l'intérieur du village. Les moustiques endophiles au repos ont été récoltés par la technique du pyrhètre le jour dans les maisons, abris à animaux, hangars...

La détermination de la parturité des moustiques femelles a été faite selon la technique de Detinova par l'examen des trachéoles ovariennes; le taux de parturité désigne le rapport des pares sur la somme des pares plus nullipares.

La détermination des indices sporozoïtiques a été basée sur l'examen microscopique des glandes salivaires. La technique d'analyse du repas sanguin des moustiques a été celle de Lombardi & Esposito (1986).

L'analyse cytogénétique des *A. gambiae s.l.* a été faite sur des échantillons de femelles endophiles semi-gravides capturées au pyrhètre, au repos en fin d'après-midi dans les maisons. Les techniques de conservation, de montage et de lecture des chromosomes polyténiques des cellules trophocytaires de l'ovocyte sont celles de Coluzzi et al. (1979). La nomenclature des formes chromosomiques de l'espèce *A. gambiae* est celle de Coluzzi et al. (1985). Pour évaluer les changements des fréquences relatives des arrangements 2Rbc et 2Ru dans les échantillon d'*A. gambiae* on a considéré l'indice $bc/(bc + u)$ qui varie entre 0% et 100%.

4. Résultats

4.1. Les hommes

Soumis à une nuisance culicidienne considérable la population a généralisé l'usage des moustiquaires. Ces moustiquaires sont fréquemment utilisées non-bordées, en particulier dans le cas fréquent où une natte sert de support au dormeur, et sont souvent en mauvais état. Dans le village VK4 où la nuisance est la plus élevée tous les habitants, quels que soient leurs âges, dorment sous moustiquaire; des moustiquaires supplémentaires sont même disponibles pour les gens de passage (A. Gazin, com.pers.).

La presque totalité de la récolte de riz est commercialisée augmentant l'accès à l'argent pour les riziculteurs. Ceci facilite l'achat de moustiquaires et de médicaments en général et d'antimalariques en particulier. La consommation de chloroquine, médicament parfaitement efficace à l'époque de l'étude au Burkina Faso (Gazin *et al.*, 1987), joue un rôle important dans la faiblesse relative des indices parasitologiques.

Pour l'année 1985 et sur 1043 examens, l'indice gamétocytaire, avec un seuil de détection estimé à 5 gamétocytes par microlitre de sang, est 9,8% pour la classe d'âge 0-14 ans. Il est 9,5%, 13,0% et 5,1% respectivement pour les tranches d'âge 0-4 ans, 5-9 ans et 10-15 ans. Il est minimal en mai (3,6% pour les 0-14 ans) et maximal en décembre (14,5%).

4.2. Les vecteurs: le complexe *Anopheles gambiae*

Dans la rizière de la Vallée du Kou trois principaux taxons du complexe *A. gambiae* peuvent être rencontrés: *A. arabiensis*, *A. gambiae* forme chromosomique Mopti et *A. gambiae* forme chromosomique Savane. Tous ces taxons montrent des polymorphismes pour des inversions paracentriques. Le polymorphisme 2Rbc/u de la forme chromosomique Mopti a été analysé en détail.

4.2.1. Les variations saisonnières

Une enquête transversale répétée tous les deux mois a été menée à VK5 entre avril et octobre 1985 (tab.1). Il en résulte que la fréquence d'*A. arabiensis* avoisine 10% de l'ensemble du complexe pendant toute l'étude sauf au début de saison sèche où elle atteint 23%. *A. gambiae* Mopti est toujours largement majoritaire. La fréquence relative d'*A. gambiae* Savane est très faible sauf au cœur de la saison pluvieuse où elle atteint 17%. L'indice $bc/(bc+u)$ d'*A. gambiae* est de 83% en avril, il diminue progressivement pendant la saison pluvieuse et est de 47% en octobre; les valeurs extrêmes enregistrées dans la rizière sont 89% ($75/(75+9)$) à VK6 les 5 et 10 avril 1984 et 21% ($15/(15+56)$) à VK1 les 20 octobre et 5 novembre 1986. Il en résulte que la fréquence de l'arrangement 2Rbc est maximale en fin de saison sèche et celle de 2Ru est maximale en fin de saison pluvieuse.

4.2.2. Les variations spatiales à l'intérieur de la rizière et dans sa périphérie proche

A. arabiensis est mieux représenté dans les villages de la périphérie de la rizière (16%) que dans les villages centraux (4%). Dans les villages périphériques il semble plus fréquent dans les habitations situées le plus près des casiers à riz.

A. gambiae Savane est aussi plus fréquent en périphérie (3%) qu'au centre (1%) de la rizière; dans les villages périphériques il est plus fréquent dans les habitations du côté opposé à la rizière (échantillon du 22 août 1985: 1 / 94 *A. gambiae* côté rizière et 48/139 côté opposé à la rizière; différence significative: $X^2=37,7$; $p<0,0001$).

Dans les villages de la périphérie le maximum de fréquence de l'inversion 2Ru et le minimum de fréquence de l'arrangement 2Rbc sont observés fin octobre; dans les villages centraux ils sont observés fin novembre. Dans les villages de la périphérie la fréquence de 2Rbc semble supérieure dans la partie du village adossée à la rizière ($bc/(bc+u)=60\%$) et la fréquence de 2Ru supérieure du côté opposé à la rizière ($bc/(bc+u) = 54\%$).

4.2.3. L'identification cytogénétique des vecteurs

Seulement huit *A. gambiae* s.l. porteurs de sporozoïtes dans leurs glandes salivaires ont été analysés sur le plan cytogénétique: tous sont des *A. gambiae*; sept appartiennent à la forme chromosomique Mopti (quatre 2Ru/u, un 2Rbc/u, un 2Rbc/bc et un 2Rbc/+) et un reste non classé (2Rb/u ou bien 2Rbu/+).

4.2.4. Les taux d'anthropophilie

Ils sont plutôt faibles et ils varient dans le temps. Les 20 et 29 août 1985 le taux d'anthropophilie calculé sur 768 *A. gambiae s.l.* endophiles gorgés (cet échantillon constitué à plus de 95% par la forme chromosomique Mopti d'*A. gambiae*) récoltés à VK4 est de 44%. Sur ce même échantillon le pourcentage de repas de sang pris sur bœuf, sur mouton et sur cheval sont respectivement 30%, 19% et 3%. Entre le 8 octobre et le 20 novembre 1986 il est de 67% (tab.2). *A. arabiensis* semble nettement plus zoophile qu'*A. gambiae*. L'anthropophilie des différents taxons d'*A. gambiae s.s.* ne diffèrent pas significativement.

4.2.5. Les taux de parturité

Les taux de parturité (TP) varient selon la fraction de population à laquelle on s'adresse. La population à TP le plus faible est celle échantillonnée à l'intérieur des maisons le jour; la fraction agressive pour l'homme à l'intérieur ou à l'extérieur des maisons a un TP supérieur; la fraction endophile gorgée a un TP encore supérieur; enfin la fraction agressive pour le bœuf est celle où le TP est le plus élevé (tab.3). Une autre analyse des TP sur 257 *A. gambiae s.l.* endophiles et gorgés, récoltés à VK4 le 20 août 1985 a montré que le TP des moustiques dont l'estomac contenait uniquement:

- du sang de bœuf était 67% (28 pares, 14 nullipares),
 - du sang humain était 40% (38 pares, 56 nullipares),
 - du sang autre que de bœuf ou d'homme était 29% (9 pares, 22 nullipares);
- la différence est significative ($X^2=11,9$; ddl=3; $p=0,0025$).

Une analyse identique conduite sur 462 *A. gambiae s.l.* récoltés le 29 août 1985 donne respectivement comme TP: 35%, 30% et 27% soit un écart plus faible et non significatif mais qui va dans le même sens.

Le TP des *A. gambiae s.l.* agressifs pour l'homme est variable selon la densité de population; il varie en sens inverse (fig.2).

4.2.6. Les indices sporozoïtiques

Les indices sporozoïtiques (s) des populations endophiles semi-gravides de vecteurs agressifs pour l'homme et pour un autre hôte ont été comparés à VK1 et VK4 entre le 6 et le 20 novembre 1986. Sept *A. gambiae s.s.* sur 123 disséqués étaient porteurs de sporozoïtes dans leurs glandes salivaires; quatre d'entre eux, comme 98 autres contenaient du sang humain dans leurs estomacs et trois d'entre eux, comme 18 autres contenaient du sang autre qu'humain. L's des *A. gambiae* avec du sang humain est donc 3,9% (4/102) et celui des *A. gambiae* avec du sang autre qu'humain est 14,3% (3/21) soit 3,7 fois plus (probabilité exacte de Fisher=0,096).

L's des *A. gambiae* s.l. agressifs pour l'homme n'est pas significativement différent en capture intérieure et extérieure: entre 1980 et 1982, sur 13779 *A. gambiae* s.l. capturés à l'intérieur et disséqués 40 étaient positifs en sporozoïtes ($s=0,29\%$) et sur 9256 capturés à l'extérieur, 33 étaient positifs ($s=0,35\%$), ($X^2=0,77$; $p=0,38$).

5. Discussion

Les modifications du milieu naturel occasionnées par l'aménagement de la rizière ont des conséquences micro-climatiques. Des différences nettes existent entre les températures enregistrées en rizière et celles enregistrées à Bobo-Dioulasso (à seulement 25 km). Les maxima moyens des températures sont supérieurs en rizière pendant toute l'année. Les températures moyennes et les minima moyens sont supérieurs de mai à octobre et inférieurs le reste de l'année (fig.3). Il en résulte que la température moyenne entre mai et octobre est de $27,0^\circ$ en rizière et est supérieure de $1,3^\circ$ par rapport à celle des alentours. Ainsi de mai à octobre, période qui correspond à la saison de transmission du paludisme, le cycle extrinsèque du *Plasmodium* est légèrement accéléré. Par contre entre novembre et février c'est l'inverse, la température moyenne est de $24,4^\circ$ et est inférieure de $1,7^\circ$ à celle des alentours; on notera qu'en décembre les minima moyens en rizière atteignent $12,2^\circ$ et peuvent donc jouer un rôle dans l'arrêt de la transmission à cette date.

Les indices gamétocytiques des habitants des villages rizières sont particulièrement bas: ils sont 6,5% chez les 2-9 ans en l'absence de tout programme de lutte. Ceux relevés dans des villages de savane sont de l'ordre de 17% (Gazin *et al.*, 1985). Il apparaît ainsi que le "réservoir de virus" infectant pour les anophèles est réduit dans la rizière par rapport à la savane avoisinante.

Le taux d'anthropophilie est étonnamment bas pour *A. gambiae* et est probablement lié à l'usage généralisé des moustiquaires et à un accès faciles à des hôtes alternatifs. Les variations saisonnières du taux d'anthropophilie sont importantes. L'anthropophilie des vecteurs semble d'autant plus faible que les densités culicidiennes sont plus grandes; elle serait logiquement liée à une meilleure protection des habitants contre les piqûres de moustiques. Ceci concourrait à expliquer pourquoi la transmission est si faible lors du maximum de la densité de vecteur.

L'accroissement de la fréquence d'*A. arabiensis* qui a été observé dans la rizière de la Vallée du Kou en saison sèche est un phénomène aussi remarqué à cette saison par Coz (1973) et par Rishikesh *et al.* (1985) en savane classique; cette espèce est particulièrement bien adaptée à la sécheresse (Dukeen & Omer, 1986). Elle est zoophile et séjourne préférentiellement dans des lieux de repos diurnes tel que les abris à animaux où les poulaillers (Robert *et al.*, à paraître c); ces deux comportements sont vraisemblablement liés à une exophilie de piqûre (White, 1974).

La forte proportion d'*A. gambiae* Mopti en rizière est à mettre en relation avec la sub-permanence des gîtes larvaires dans ce biotope où l'irrigation est habituelle. C'est seulement au milieu de la saison pluvieuse, lors du maximum de précipitation, donc lorsque des gîtes larvaires temporaires sont au maximum de leur productivité anophélienne, que la forme chromosomique Savane atteint une fréquence notable.

La forme chromosomique Mopti est en permanence majoritaire dans la rizière, dans le delta intérieur du fleuve Niger (Touré *et al.*, 1983) et dans le sahel au Burkina Faso pendant la saison pluvieuse (Petrarca *et al.*, comm.pers.). Les variations climatiques, et en particulier les variations d'humidité, entraînent pourtant de profondes modifications de la structure génétique de cette population: en fin de saison sèche l'arrangement 2Rbc est rencontré chez plus de 80% des individus de l'espèce et en fin de saison pluvieuse c'est l'inversion 2Ru qui est observée chez plus de 70% avec un décalage de un mois au centre de la rizière, là où les conditions sont les plus humides. Comme une forme chromosomique correspond à une population où les croisements sont aléatoires, le remplacement en six mois, soit environ une dizaine de générations de moustiques, de 2Rbc par 2Ru (ou de 2Ru par 2Rbc) illustre la différence des valeurs adaptatives liées à ces arrangements chromosomiques. De semblables variations saisonnières de la fréquence de ces arrangements ont aussi été décrites au Mali (Touré, 1985).

La faiblesse de l'effectif de l'échantillon du complexe *A. gambiae* à la fois infectés avec des sporozoïtes et identifiés par la cytogénétique ne permet pas de conclure sur les potentialités vectrices des différents taxons. Une étude directe des potentialités vectrices doit porter sur les moustiques porteurs de sporozoïtes, or les indices sporozoïtiques sont particulièrement bas dans la zone étudiée; un tel programme est donc difficile à réaliser dans ce biotope. Cependant il est établi qu'*A. gambiae* Mopti qui est le taxon le plus fréquent est aussi le vecteur principal; aucun *A. arabiensis*, dont on sait qu'il sont zoophiles et relativement peu représentés, n'a été trouvé infecté avec des sporozoïtes. Il ne semble pas nécessaire de faire appel à une hasardeuse hypothèse sur une mauvaise aptitude vectrice du taxon *A. gambiae* Mopti pour expliquer pourquoi la transmission du paludisme est faible relativement à une importante densité de vecteur. Au Mali ce taxon est un vecteur dont l'efficacité est excellente et comparable à celle d'*A. gambiae* Savane (Touré *et al.*, 1986); ce taxon est également un excellent vecteur au laboratoire pour les infections expérimentales sur membranes (Boudin, com.pers.).

Le taux de parturité (TP) des *A. gambiae* de rizière est particulièrement faible. Le TP moyen des *A. gambiae* s.l. agressifs pour l'homme dans les villages de savane de la région sont de 68% (Hamon, 1963) et 63% (Robert *et al.*, à paraître a), soit nettement plus que les 30% observés à VK4 sur l'ensemble d'une l'année (Robert *et al.*, à paraître b). Le TP de la fraction de population endophile totale concerne entre autres les femelles

néonates et est logiquement le TP le plus faible. La fraction de population endophile gorgée et agressive ni pour l'homme ni pour le bœuf a un TP inférieur à celle agressive pour le l'homme, cette dernière a un TP inférieur à celle agressive pour le bœuf. De plus l'indice sporozoïtique de la fraction agressive pour l'homme est inférieur à celui de la fraction agressive pour un hôte non-humain.

On sait que la population d'*A. gambiae* de la forme chromosomique Mopti est caractérisée par une anthropophilie importante et aussi élevée que celle des autres formes (Touré *et al.*, à paraître). Il est très probable que la grande zoophilie observée en Vallée du Kou est causée par l'inaccessibilité relative de l'hôte humain dormant sous moustiquaires. Cette zoophilie forcée d'*A. gambiae* révèle une situation peu fréquente qui pourrait lui être dommageable comme en témoignent les TP particulièrement bas. A l'opposé *A. arabiensis* dont on connaît son opportunisme trophique et même ses préférences zoophiles, du fait de la présence de gros et de petit bétail, dispersé dans les villages, serait à son aise dans cette rizière. Le TP inférieur en capture sur hommes par rapport à la capture sur bœufs s'expliquerait par une quasi exclusivité d'*A. gambiae* en capture sur hommes et par une forte proportion d'*A. arabiensis* en capture sur bœufs. L'hypothèse de la coexistence de populations d'*A. gambiae* endophile et anthropophile et d'*A. arabiensis* exophile, exophage et zoophile, est proposée.

Dans la zone rizicole de la Vallée du Kou les repas de sang d'*A. gambiae s.l.* (dont on sait que plus de 95% sont des *A. gambiae s.s.*) très jeunes sont plutôt pris sur un hôte autre que l'homme et le bœuf, les repas de sang des moustiques moins jeunes sont plutôt pris sur l'homme et ceux des moustiques âgés (et éventuellement infectés) sont plutôt pris sur bœuf. Cette déviation trophique des vecteurs infectés est particulièrement importante sur le plan épidémiologique et ne constitue pas un fait d'observation classique (Chauvet *et al.*, 1965).

Le lien existant entre le TP des *A. gambiae* agressifs pour l'homme et leur densité agressive n'est encore pas clairement explicité. Il est probable que la dispersion des moustiques de l'intérieur de la rizière vers l'extérieur soit d'autant plus importante que la densité est grande. Il est possible aussi que le niveau particulièrement élevé de densité anophélienne rende la compétition intra-spécifique maximale et favorise les stratégies adaptatives où la rapidité du développement prime et où la demi-vie des générations est brève. Hawley (1985) a observé sur de très denses populations préimaginales d'*Aedes sierrensis* que le poids des nymphes est faible et que de ces dernières émergeront des adultes à longévité réduite. Dans la plaine de la Ruzizi ont déjà été faite des observation, d'une part, de forte densité de population d'*A. gambiae s.l.* à indice sporozoïtique bas (Vincke, 1965) et d'autre part, des variations concomitantes et inverses de la densité d'*A. arabiensis* et de son taux de parturité en rizière (Coosemans, 1985).

6. Conclusion

Dans la rizière de la Vallée du Kou le seul facteur influant la transmission du paludisme dans le sens d'une augmentation est la grande densité de vecteur de l'espèce *A. gambiae* . Au contraire, de nombreux autres facteurs sont limitants pour la transmission:

- la population humaine est peu infectante pour les moustiques,
- l'usage généralisé des moustiquaires réduit les contacts entre l'homme et les vecteurs,
- les vecteurs prennent leurs repas de sang sur des animaux, ceci surtout aux stades épidémiologiquement dangereux,
- la fraction de vecteur agressive pour l'homme a un âge physiologique moyen particulièrement bas.

L'ensemble de ces facteurs limitants est la cause d'indice sporozoïtique très faible et explique la faiblesse de la transmission malgré des densités de vecteurs très élevées.

BIBLIOGRAPHIE

- CARNEVALE (P.) & ROBERT (V.), 1987.- Introduction of irrigation in Burkina Faso and its effect on malaria transmission. Joint WHO/FAO/UNEP panel of experts on environmental management for vector control, PEEM/7/WP/87.9a.
- CHAUVET (G.), COZ (J.) & GRENIER (P.), 1965.- Relations entre l'âge physiologique et le comportement des moustiques. *Cahiers ORSTOM, Sér.Ent.méd. Parasitol.*, 3 et 4: 103-109.
- COLUZZI (M.), PETRARCA (V.) & DI DECO (M.A.), 1985.- Chromosomal inversion intergradation and incipient speciation in *Anopheles gambiae*. *Boll.Zool.*, 52: 45-63.
- COLUZZI (M.), SABATINI (A.), PETRARCA (V.) & DI DECO (M.A.), 1979.- Chromosomal differentiation and adaptation to human environments in the *Anopheles gambiae* complex. *Trans.Roy.Soc.trop.Med.Hyg.*, 73: 483-497.
- COZ (J.), 1973.- Contribution à l'étude du complexe *Anopheles gambiae*, répartition géographique et saisonnière en Afrique de l'Ouest. *Cah.ORSTOM Sér.Ent.méd.Parasitol.*, 11, 1: 3-31.
- COOSEMANS (M.H.), 1985.- Comparaison de l'endémie malarienne dans une zone de riziculture et dans une zone de culture de coton dans la plaine de la Rusizi, Burundi. *Ann.Soc.belge Méd.trop.*, 65, suppl.2: 187-200.
- DI DECO (M.A.), SABATINELLI (G.), CAMIZ (S.) & TOURÉ (Y.T.), 1983.- Studio biometrico di due nuove entità del complesso *Anopheles gambiae*. *Parassitologia*, 25: 260-266.
- DUKEEN (M.Y.H.) & OMER (S.M.), 1986.- Ecology of the malaria vector *Anopheles arabiensis* by the Nile in northern Sudan. *Bull.ent.Res.*, 76: 451-467.
- GAZIN (P.), BOILLOT (F.), OUEDRAOGO (J.B.), CARNEVALE (P.) & AMBROISE-THOMAS (P.), 1987.- Effectiveness of single dose treatment with chloroquine of malaria in West Africa and measurement of chloroquine urinary excretion. *Ann.Soc.belge Méd.trop.*, 67: 329-334.
- GAZIN (P.), ROBERT (V.) & CARNEVALE (P.), 1985.- Etude longitudinale des indices paludologiques de deux villages de la région de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. *Ann.Soc.belge Méd.trop.*, 65, suppl.2: 181-186.
- HAMON (J.), 1963.- Etude de l'âge physiologique des femelles d'anophèles dans les zones traitées au DDT et non traitées, de la région de Bobo-Dioulasso, Haute-Volta. *Bull.Org.mond.Santé*, 28: 83-109.
- HAWLEY (W.A.), 1985.- The effect of larval density on adult longevity of a mosquito, *Aedes sierrensis*: epidemiological consequences. *J.animal Ecology*, 54: 955-964.
- LOMBARDI (S.) & ESPOSITO (F.), 1986.- A new method for identification of the animal origin of mosquito bloodmeals by the immunobinding of peroxylase-anti-peroxylase complexes on nitrocellulose. *J.Immuno.Methods*, 86: 1-5.
- RISHIKESH (N.), DI DECO (M.A.), PETRARCA (V.) & COLUZZI (M.), 1985.- Seasonal variations in indoor resting *Anopheles gambiae* and *A.arabiensis* in Kaduna, Nigeria. *Acta tropica*, 42: 165-170.
- ROBERT V., GAZIN P., BOUDIN C., MOLEZ J.-F., OUEDRAOGO V. & CARNEVALE P., 1985.- La transmission du paludisme en zone de savane arborée et en zone rizicole des

environs de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. *Ann.Soc.belge Méd.trop.*, 65, suppl.2: 201-214.

ROBERT (V.), HERVY (J.P.), BAUDON (D.), ROUX (J.), LEGROS (F.) & CARNEVALE (P.)- Influence de deux stratégies médicamenteuses par la chloroquine (prophylaxie et thérapie des accès fébriles) sur la transmission du paludisme. *Bull. Soc. Path. exo.* (à paraître a).

ROBERT (V.), OUARI (B.), OUÉDRAOGO (V.) & CARNEVALE (P.), 1988.- La succession des espèces anophéliennes et le cycle du riz; étude écologiques des Culicidae adultes et larvaires dans la rizière de la Vallée du Kou, Burkina Faso. *Acta tropica* (à paraître).

ROBERT (V.), OUÉDRAOGO (V.) & CARNEVALE (P.)- La transmission du paludisme humain dans un village au centre de la rizière de la Vallée du Kou, Burkina Faso. (à paraître b).

ROBERT (V.), PETRARCA (V.), CARNEVALE (P.) & COLUZZI (M.), 1986.- Le particularisme de la transmission du paludisme dans la zone rizicole de la Vallée du Kou (Burkina Faso); l'apport de l'étude cytogénétique des vecteurs à l'épidémiologie. *Parassitologia*, 28: 327-329.

ROBERT (V.), PETRARCA (V.), CARNEVALE (P.), OVAZZA (L.) & COLUZZI (M.) - Analyse cytogénétique du complexe *Anopheles gambiae* dans la région de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. *Ann. Parasito. hum. comp.* (à paraître c).

TOURÉ (Y.T.), 1985.- Génétique, écologie et capacité vectorielle des membres du complexe *Anopheles gambiae* au Mali. Thèse de sciences, Faculté de sciences et techniques de Saint Jérôme, Aix-Marseille III.

TOURÉ (Y.T.), PETRARCA (V.) & COLUZZI (M.), 1983.- Nuove entità del complesso *Anopheles gambiae* in Mali. *Parassitologia*, 25: 367-370.

TOURÉ (Y.T.), PETRARCA (V.) & COLUZZI (M.), 1986.- Esame comparativo dei tassi di infezione con sporozoiti e filarie in diverse forme del complesso *Anopheles gambiae* in un villaggio del Mali. *Ann.Ist.Super.Sanità*, 22: 215-218.

VINCKE (I.H.), 1965.- Les indices sporozoïtiques et oocystiques dans la Vallée de la Ruzizi. *Cah. ORSTOM, Sér. Ent. méd. Parasitol.*, 3 et 4: 115-117.

WHITE (G.B.), 1971.- *Anopheles gambiae* complex and disease transmission in Africa. *Trans.Roy.Soc.trop.Med.Hyg.*, 68: 278-301.

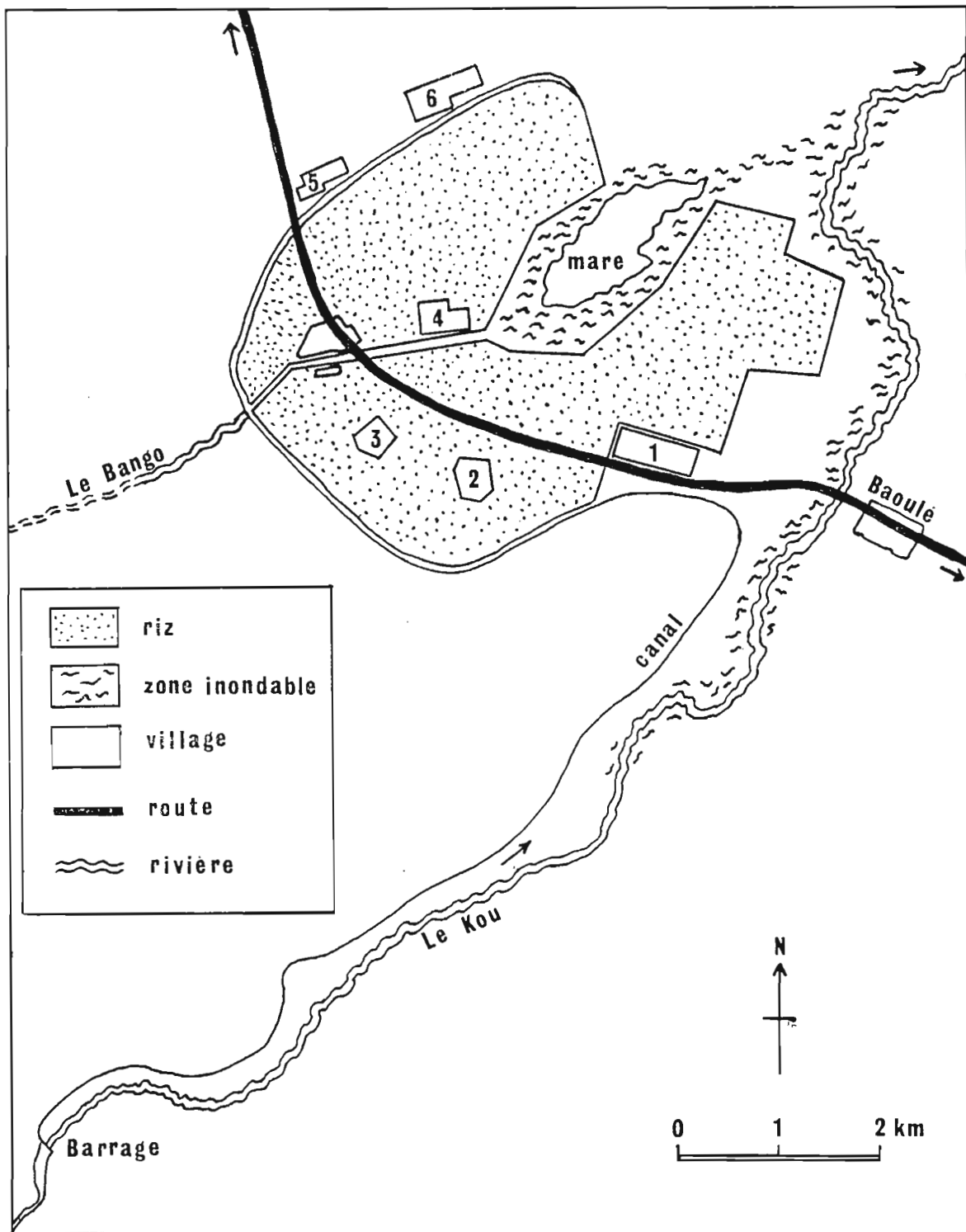


Figure 1. Plan de la zone rizière et des villages de la Vallée du Kou, Burkina Faso.
 Figure 1. Plan of the rice growing area and of the villages of the Kou Valley, Burkina Faso.

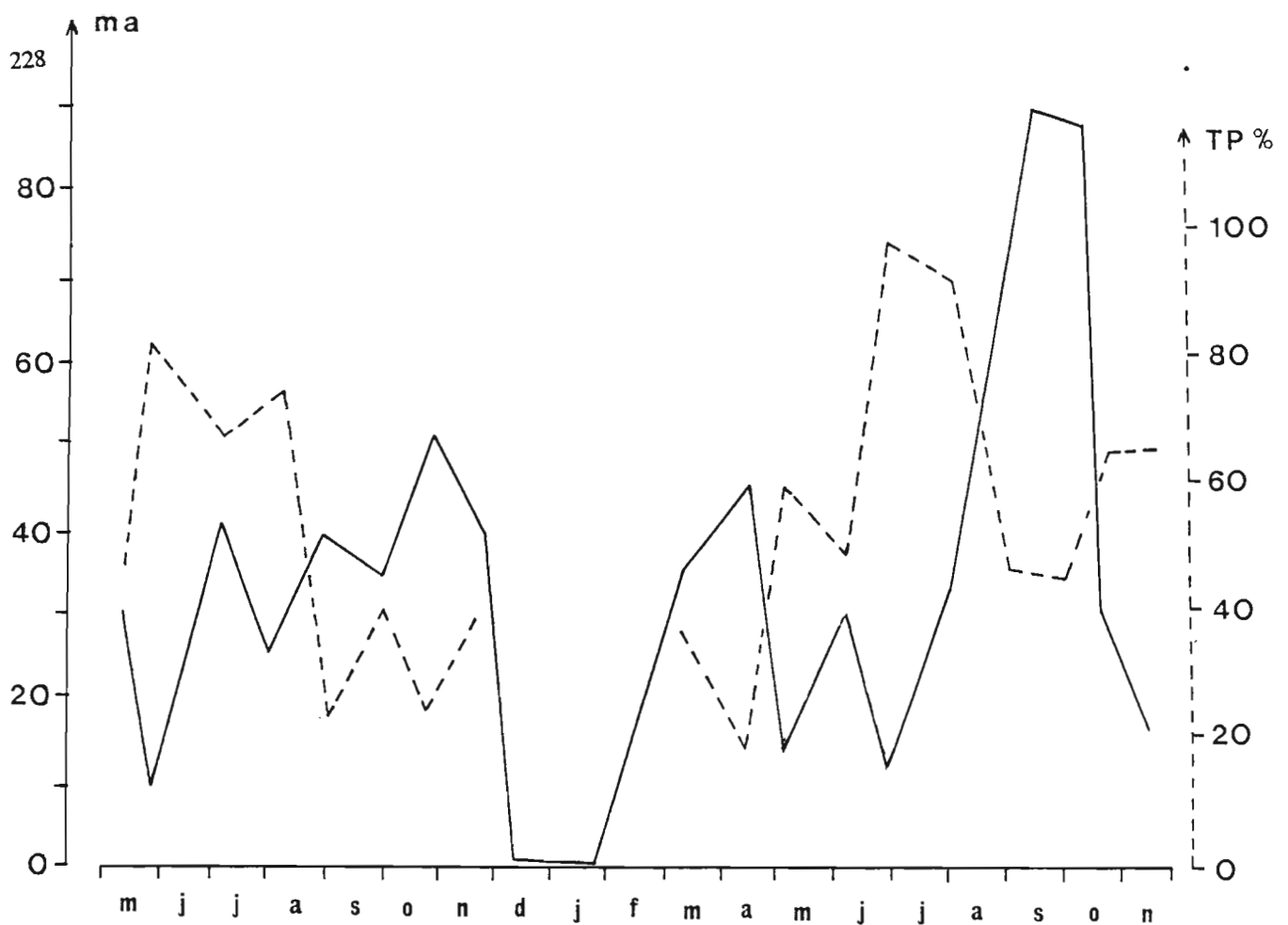


Figure 2. Evolution des densité agressive pour l'homme (ma) d' *Anopheles gambiae* s.l. et de son taux de parturité (TP) dans le village VK6 en 1983 et 1984 (d'après Camevale & Robert, 1987).

Figure 2. Evolution of the density (ma) of *Anopheles gambiae* s.l. biting man and of its parturity rate (TP) in the village VK6 in 1983 and 1984.



Figure 3. Comparaison en pourcentage des températures mensuelles moyennes du village VK1 par rapport à celles enregistrées à Bobo-Dioulasso, distant de 25 km.

Figure 3. Comparison in terms of percentage of the monthly mean temperatures observed in the village VK1 as related to those observed in Bobo-Dioulasso, 25 km away.

Mois		Anopheles gambiae				Anopheles arabiensis	TOTAL GENERAL
		Mopti	Savane	autres	Total		
Avril	n	76	1	6	83	6	89
	%	91,57	1,20	7,23	93,26	6,74	
Juin	n	12	3	1	16	0	16
	%	75,00	18,75	6,25	100	0,00	
Août	n	270	59	27	356	42	398
	%	75,84	16,57	7,58	89,45	10,55	
Octobre	n	210	14	16	240	73	313*
	%	87,50	5,83	6,67	76,68	23,32	
TOTAL	n	568	77	50	695	121	816
	%	81,73	11,08	7,19	85,17	14,83	

* + 1 hybride *A. arabiensis* x *A. gambiae*

Tableau 1. Variations saisonnières des fréquences des taxons du complexe *Anopheles gambiae* récoltés en 1985 dans des maisons du village VK5.

Table 1. Seasonal variations in the frequencies of taxa observed in *Anopheles gambiae* complex collected in houses of the village VK5 in 1985.

Repas de sang humain	Anopheles gambiae							Anopheles arabiensis	TOTAL GENERAL
	Mopti				Savane	autres	Total		
	bc/bc	bc/u	u/u	Total					
oui	10	36	42	151	4	19	174	2	176
non	4	23	20	65	2	6	73	12	85
Total	14	59	62	216	6	25	247	14	261
anthropophilie	71%	61%	68%	70%	-	76%	70%	-	67%

Tableau 2. Indice d'anthropophilie des taxons du complexe *Anopheles gambiae* récoltés dans des maisons des villages VK1 et VK4 en octobre et novembre 1986.

Table 2. Anthropophilic index of taxa in *Anopheles gambiae* complex collected in houses of the villages VK1 and VK4 in October and November 1986.

Date	Caractéristiques de l'échantillonnage	Pare	Nullipare	TP %	Chi deux	p
28 Août	Agressifs pour l'homme dans quatre maisons de 20h à 06h	58	225	20,5	15,1	<0,00001
	Endophiles et gorgés dans les quatre mêmes maisons à 06h	134	258	34,2		
10 Septembre	Agressifs pour l'homme dans quatre maisons de 20h à 06h	69	230	23,1	3,77	0,052
	Endophiles dans les quatre mêmes maisons à 06h	31	164	15,9		
11 Septembre	Agressifs pour l'homme dans des maisons de 20h à 01h	116	419	21,6	16,6	<0,00001
	Agressifs pour le bœuf entre les maisons de 20h à 01h	77	136	36,1		
8 Octobre	Agressifs pour l'homme dans des maisons de 22h à 02h	24	57	29,6	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 10px;"> <div style="border-left: 1px solid black; height: 10px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border-left: 1px solid black; height: 10px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border-left: 1px solid black; height: 10px;"></div> </div> <div> 0,05 23,1 </div> </div>	0,82
	Agressifs pour l'homme à l'extérieur et à côté des bœufs de 22h à 02h	62	157	28,3		
	Agressifs pour le bœuf entre les maisons de 22h à 02h	112	116	49,1		<0,00001

Tableau 3. Résultats de quatre expériences de comparaison du taux de parturité (TP) d'*Anopheles gambiae* s.l. capturés de différentes manières.
 Table 3. Results of four experimentations on the comparison of the parturity rate (TP) of *Anopheles gambiae* s.l. collected in different ways.

MALARIA TRANSMISSION IN THREE SITES SURROUNDING THE AREA OF BOBO-DIOULASSO (BURKINA FASO): THE SAVANNA, A RICE FIELD, AND THE CITY¹

V. Robert^{2,3}, P. Gazin², and P. Carnevale²

Malaria is an endemic parasitic disease in West Africa. At the end of the rainy season in rural areas, 70 to 90 percent of the children have parasites in their blood (Gazin, et al. 1985). The most frequently observed parasite is *Plasmodium falciparum*, the remainder are *Plasmodium malariae*, and very rarely *Plasmodium ovale*. Significant titres of malaria antibodies, as assessed by immunofluorescence assay, are found in all adults (Gazin et al. 1984).

Although malaria is endemic, there are large differences in the intensity and the rhythm of the transmission from one area to another, as we have observed in Bobo-Dioulasso and its neighbourhood.

Three sites were studied:

- a traditional village, located 60 km north of Bobo-Dioulasso near a ephemeral marsh land.
- a village located in the middle of recently developed rice fields, 30 km north of Bobo-Dioulasso, where rice is harvested twice a year (Robert et al. 1985).
- the city of Bobo-Dioulasso, including a peri-urban district without any water distribution and collection system, and a central district, built over 30 years ago and with a minimum water supply collection (Robert et al. 1986).

The anthropophilic anopheline fauna was studied by the usual all night catches on human beings. Caught *Anopheles* were identified and dissected for classical examination of ovaries and of salivary glands.

RESULTS

The traditional village in the savanna.

Anopheles gambiae sensu lato and *Anopheles funestus* were predominant, while *Anopheles nili* was also noticed but at a low level.

In January and February, during the cold, dry season, *Anopheles* spp. were seen (Fig. 1). From March, *An. gambiae* s.l. began to emerge (5 bites/man/night). When the rains began, the anopheline density

increased. *Anopheles gambiae* s.l. reached its maximum in August (25 bites/man/night), while *An. funestus* reached its maximum in October (30 bites/man/night). Therefore, each inhabitant was theoretically bitten by 7,500 *Anopheles* spp. per year.

Seventy-three percent of *An. gambiae* s.l. and 77 percent of *An. funestus* were parous, indicating high daily survival rate. Thus, a proportion of 21 percent of the adults would reach the age for malaria transmission (Coz et al. 1961).

Sporozoites were observed in the salivary glands of these two species from May to December. The sporozoite index was 3 percent after 3,000 dissections. Thus, every inhabitant was theoretically bitten by 135 infected *Anopheles* spp. per year.

The village in the rice field.

The main malaria vector was *An. gambiae* s.l., while *An. funestus* was less represented. The vectorial density was higher than in the savanna area. *Anopheles gambiae* s.l. was present all year long with large seasonal variations according to agricultural activity. Due to the rice cultivation in the dry season, the density reached more than 40 bites/man/night. During the rainy season rice cultivation, the density reached 80 bites/man/night. *Anopheles funestus* was present only from September to December with a maximum of 6 bites/man/night. In these conditions, every inhabitant was theoretically bitten 14,000 times per year by *Anopheles* spp.

It has to be underlined that the anthropophilic *An. gambiae* s.l. population was mainly composed of nulliparous females (55%) indicating dispersion was high and/or daily survival rate was short. Only 1.9 percent of the adults could reach the age suitable for malaria transmission. The *An. funestus* population was older with a parous rate of 73 percent. Such a high nulliparous rate of *An. gambiae* s.l. was one of the explanations for the surprisingly low sporozoite index

¹Presented at the 1st European Branch Meeting, SOVE, Montpellier, FRANCE, 11-12 September, 1986.

²ORSTOM - IFRSDC, B.P. 171, Bobo-Dioulasso, BURKINA FASO.

³Present Address: 19 Bd de Port-Royal, 75013 Paris, FRANCE.

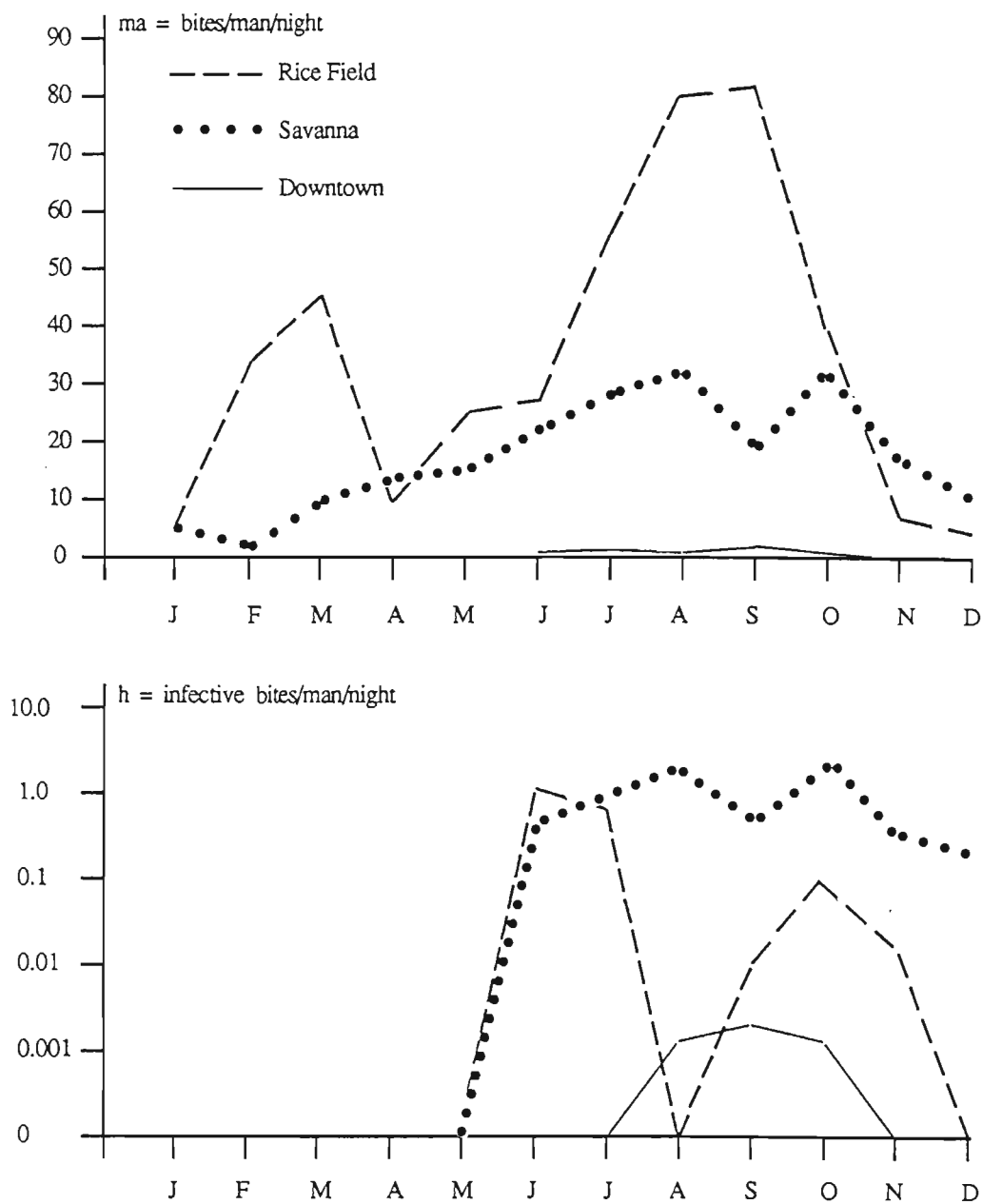


Figure 1. Annual variations of anopheline man-biting rate (ma) and of malaria inoculation rate (h) in three sites surrounding the area of Bobo-Dioulasso, Burkina Faso.

of this species (0.5% after 8,000 dissections).

In these conditions, malaria transmission was characterized by two factors: (1) it occurred in two periods during May and June then September to November, and (2) the yearly inoculation rate was 50 infected bites/man.

The urban area.

In the peri-urban district, *Anopheles* spp. were present from July to November only, with a high density in August (50 bites/man/night). Every inhabitant was theoretically bitten 2,500 times by *Anopheles* per year and 98 percent of these *Anopheles* were *An. gambiae* s.l.

Parous rate was low (43%) and also so was the sporozoite rate (0.19% after 500 dissections). Every inhabitant was in theory bitten by 4.6 infected *Anopheles* spp. per year.

In the center of the city, *Culex quinquefasciatus* was the major nuisance, with 25,000 bites/man/year. *Anopheles* spp. were very rare and only *A. gambiae* s.l. were caught with a density of 75 bites/man/year. We estimated the number of infected bites/man/year at 0.15, corresponding to one infected bite every 7 years.

CONCLUSION

Great differences appeared in the intensity and in the rhythm of malaria transmission in three sites located within short distances.

The highest *Anopheles* spp. density was observed in the rice field, while the highest transmission occurred in the savanna. In the peri-urban district, transmission was 50 times lower than in the savanna, and in the center of the city it was 1,000 times lower.

In this region nobody is free from the risk of getting infected, even for the city inhabitants when considering their frequent journeys to rural areas.

Nuisance Culicidae in the city (*Culex quinquefasciatus*) and in the rice field (*Anopheles* spp.) has encouraged a large proportion of the population to

regularly use bed nets. Malaria transmission may have been reduced for this population for these reasons.

Moreover, we have observed that the childhood parasitological index followed the same pattern of the inoculation rates and decreased from the savanna to the urban area (Gazin et al. 1987). It is evident that malaria infection can vary considerably within a small area of Africa.

REFERENCES CITED

- Coz, J., H. Gruchet, G. Chauvet, and M. Coz. 1961. Estimation du taux de survie chez les *Anopheles*. Bull. Soc. Path. Exot. 54(6): 1353-1358.
- Gazin, P., L. Ovazza, O. Brandicourt, and P. Carnevale. 1984. Etude parasitologique et sérologique du paludisme dans la région de Bobo-Dioulasso. OCCGE-Inf. 92: 5-14.
- Gazin, P., V. Robert, and P. Carnevale. 1985. Etude longitudinale des indices paludologiques de deux villages de la région de Bobo-Dioulasso (Burkina Faso). Ann. Soc. Belge Med. Trop. 65(supl. 2): 181-186.
- Gazin, P., V. Robert, and P. Carnevale. 1987. Le paludisme urbain à Bobo-Dioulasso. 2. Les indices parasitologiques. Cahiers ORSTOM, Sér. Entomol. Med. Parasitol. 25(2): (In Press).
- Robert, V., P. Gazin, C. Boudin, J.-F. Molez, V. Ouedraogo, and P. Carnevale. 1985. La transmission du paludisme en zone de savane arborée et en zone rizicole des environs de Bobo-Dioulasso. Ann. Soc. Belge Med. Trop. 65(supl. 2): 201-214.
- Robert, V., P. Gazin, V. Ouedraogo, and P. Carnevale. 1986. Le paludisme urbain à Bobo-Dioulasso. 1. Etude entomologique de la transmission. Cahiers ORSTOM, Série Entomol. Med. Parasitol. 24(2): 121-128.

**De la difficulté de prévoir les répercussions sanitaires des
aménagements hydroagricoles; le cas du paludisme dans la
rizière de la Vallée du Kou au Burkina Faso.**

Vincent ROBERT

Pierre GAZIN

Pierre CARNEVALE

Résumé:

Dans la région de Bobo-Dioulasso l'aménagement d'une rizière a entraîné un bouleversement du milieu naturel avec un accroissement considérable, et attendu, de la densité d'anophèle vecteur. Cet accroissement est paradoxalement associé à une diminution de la transmission du paludisme.

Cet exemple constitue une conséquence heureuse et imprévue d'une réalisation hydro-agricole. Il s'agit cependant d'un cas particulier qui ne remet pas en cause le risque global de dégradation du niveau sanitaire souvent lié à un aménagement de ce type. Ceci illustre l'impossibilité dans certain cas, de quantifier ce risque à l'avance.

Le sud-est asiatique en savane ouest africaine, c'est l'impression qui saisit le nouveau venu devant les immenses casiers à riz soigneusement entretenus de la Vallée du Kou. Pourtant la méprise ne dure pas: les sourires sont africains, le terroir est burkinabé, Bobo-Dioulasso est à une trentaine de kilomètres.

Le projet rizicole de la Vallée du Kou a débuté il y a une quinzaine d'années en remodelant largement le visage de cette zone: les arbres ont été coupés, le terrain a été aplani. Désormais mille hectares d'un seul tenant, artificiellement irrigués, fournissent deux récoltes annuelles. Six villages nouvellement construits à l'intérieur du périmètre rizicole, sont occupés par vingt mille volontaires regroupés en coopérative. C'est une belle réalisation; souvent visitée, elle fait référence.

Un écosystème est régulé de façon multiples et souvent mal connues. Son bouleversement a des répercussions difficilement prévisibles sur un biotope. Toutefois il était évident, avant le début des travaux, que le paysage originel de bas fond de savane soudanienne allait être radicalement transformé par la riziculture. Cependant était-on capable de prévoir le nouveau risque palustre pour les riziculteur et leurs familles?

Pour évaluer l'impact de ces modifications sur l'épidémiologie du paludisme, une étude multidisciplinaire est menée depuis cinq ans en Vallée du Kou; elle concerne l'entomologie, la parasitologie, l'immunologie, la clinique et la démographie. Sur le plan entomologique on emploie surtout la méthode classique de capture des moustiques sur sujets humains, la nuit, à l'intérieur ou à l'extérieur des maisons.

Les résultats obtenus sont étonnants.

Avant de les exposer, rappelons que les agents du paludisme sont des protozoaires du genre *Plasmodium*. Ils sont transmis par des moustiques du seul genre *Anopheles* qui piquent la nuit. Le moustique s'infecte en prenant un repas de sang sur un sujet impaludé et porteur des éléments sexués du parasite. Ces éléments évoluent dans l'anophèle vecteur selon un processus complexe dont la durée est fonction de l'espèce plasmodiale et de la

température. Pour *P. falciparum* ce cycle de développement dans le moustique (cycle sporogonique) nécessite une dizaine de jours dans les conditions habituelles. Une seule piqûre infectante peut suffire pour déclencher un accès palustre chez un sujet non-immun. En Afrique intertropicale la transmission du paludisme est élevée. Chaque homme reçoit régulièrement des piqûres infectantes et réagit en développant un état de prémunition qui est en fait un équilibre, souvent instable surtout chez les enfants, entre l'hôte et le parasite.

Les rizières en général, constituent un milieu artificiel très favorable à de nombreuses espèces de moustiques. L'hygrométrie y est élevée. Les casiers à riz et les canaux d'irrigation à débit faible ou stoppé constituent autant de sites de ponte et de gîtes larvaires. Les moustiques adultes peuvent se reposer le jour dans les maisons et piquer la nuit l'homme et les animaux domestiques (volaille, moutons, bœufs...). Ainsi la création d'une rizière entraîne souvent une véritable pullulation de moustiques. Cependant cette pullulation n'affecte pas également toutes les espèces anophélienne.

En Vallée du Kou, *Anopheles funestus* est en effectif très réduit alors qu'il est un vecteur majeur du paludisme dans la région. Par contre *Anopheles gambiae*, le vecteur principal dans cette rizière, est parfaitement adapté à ce biotope: au centre de la zone rizicole, sa densité agressive pour l'homme est dix fois supérieure à celle observée dans la savane voisine atteignant 150 piqûres par homme et par nuit à la saison favorable et au total 14 000 piqûres par homme et par an (ROBERT *et al.*, 1985).

En ne considérant que cette densité particulièrement élevée, une déduction hâtive pourrait faire présager que la transmission du paludisme serait accentuée en zone rizicole. Or nos études ont montré que cette transmission n'est pas augmentée en Vallée du Kou, elle est même inférieure à celle de presque tous les villages étudiés dans la savane avoisinante. Effectivement, la transmission annuelle varie entre 40 et 60 piqûres d'anophèles infectés par homme dans les villages de la zone rizicole, alors que dans les villages de la région de Bobo-Dioulasso, elle se situe entre 35 et 250 (selon les conditions écologiques locales) avec une valeur moyenne de l'ordre de la centaine.

Ce paradoxe - plus de vecteur et moins de transmission - peut s'expliquer par la combinaison de plusieurs facteurs modifiant l'éthologie du vecteur dans le sens d'une réduction du contact entre l'homme et les *Anopheles*:

- le facteur principal est la jeunesse de la population anophélienne anthropophile. Les vecteurs ayant atteint et dépassé l'âge épidémiologiquement dangereux sont très minoritaires; ils assurent seuls la transmission. En Vallée du Kou, pour des raisons encore à élucider, l'ensemble de la population anophélienne anthropophile est très jeune et disparaît avant que le cycle sporogonique ne soit achevé. Ces jeunes moustiques bien que pouvant être infectés ne possèdent donc aucune potentialité vectrice.

- le deuxième facteur est la forte tendance des anophèles à prendre des repas de sang sur des animaux. Celle-ci n'est observée qu'en rizière car, contrairement aux villages traditionnels, les bœufs de labour utilisés pour la riziculture dorment dispersés à l'intérieur du village et constituent alors des proies faciles pour les moustiques. Cette zoophagie sur des animaux réfractaires au paludisme diminue d'autant l'infection des moustiques et les inoculations à l'homme.

- le troisième facteur est l'usage généralisé de moustiquaires de lit pour éviter la nuisance que constituerait plusieurs dizaines de milliers de piqûres par an pour un même homme. L'emploi de ces moustiquaires réduit encore l'intensité de la transmission par rapport à la savane voisine où leur utilisation est exceptionnelle.

On constate donc qu'en Vallée du Kou la transmission relativement faible du paludisme peut fort bien s'expliquer. L'augmentation considérable de la densité anophélienne est généralement un facteur aggravant mais dans le cas de la Vallée du Kou, d'autres facteurs, tout aussi déterminants, en minorent les effets.

Il faut cependant prendre garde de généraliser ces observations. Classiquement de nettes détériorations de la situation sanitaire sont constatées en ce qui concerne le paludisme et d'autres maladies liées à l'eau dans les biotopes de rizière (NOZAI & GENTILINI, 1985). Ainsi COOSEMANS (1985) observe des niveaux d'endémicité palustre

supérieurs dans les villages rizicoles par rapport aux villages cotonniers de la plaine de la Ruzizi au Burundi. SHARMA & UPERTY (1982) font les mêmes constatations dans des villages pourvus d'un système de canaux d'irrigation par rapport à ceux qui en sont dépourvus, dans les districts de Meerut et de Gurgaon aux Indes. PHILIPPON & MOUCHET (1976) insistent sur le risque des aménagements hydrauliques en zone sèche d'Afrique intertropicale mais notent justement que dans les savanes humides une augmentation de la transmission "ne change guère le degré d'endémicité du paludisme qui en fait plafonne à un maximum".

L'essentiel reste que l'étude des répercussions des aménagements déjà existants constitue une étape indispensable pour autoriser des prévisions sur de futures réalisations.

Les aménagements majeurs de l'espace entraînent des répercussions multiples et importantes. Ils interviennent sur des systèmes dont les régulations sont complexes et méconnues. Les prévisions de ces répercussions doivent donc être prudentes et sans a priori. C'est pourquoi, les décideurs doivent s'entourer de spécialistes de toutes les disciplines concernées pour envisager au mieux la prévention des risques avant qu'ils n'apparaissent et pour intervenir au cas où ils se concrétiseraient.

Bibliographie

COOSEMANS M.H., 1985.- Comparaison de l'endémie malarienne dans une zone de riziculture et dans une zone de culture de coton dans la plaine de la Ruzizi, Burundi. *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, **65**, Suppl. 2: 187-200.

NOZAIIS J.P. & GENTILINI M., 1985.- Les conséquences sanitaires du développement économique des pays tropicaux. *Méd. Trop.*, **45**: 73-78.

PHILIPPON B. & MOUCHET J., 1976.- Répercussions des aménagements hydrauliques à usage agricole sur l'épidémiologie des maladies à vecteurs en Afrique intertropicale. Colloque international: l'eau et les activités agricoles. Paris 3-5 mars 1976. Cahiers du C.E.N.E.C.A. 3213.

ROBERT V., GAZIN P., BOUDIN C., MOLEZ J.F., OUÉDRAOGO V. & CARNEVALE P., 1985.- La transmission du paludisme en zone de savane arborée et en zone rizicole des environs de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, **65**, Suppl. 2: 201-214.

SHARMA V.P. & UPERTY H.C., 1982.- Preliminary studies on irrigation malaria. *Indian J. Malariol.*, **19**: 139-142.

Plasmodium falciparum* incidence and patency in a high seasonal transmission area of Burkina Faso

P. Gazin, V. Robert, M. Cot and P. Carnevale *Antenne ORSTOM, Centre Muraz, B.P. 171, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso*

Abstract

Using a mathematical model *P. falciparum* transition rates were calculated from the parasitological data collected from children of 2 villages of a high and seasonal transmission area in Burkina Faso (West Africa). During the rainy season, patent parasitaemia appeared every 40 to 60 d and was present for 60 d approximately. The significance of these values is discussed.

Introduction

Conventional transectional surveys on malaria lead to an evaluation of the parasitological prevalence rate in a population and its variations with respect to age and season. Unfortunately, they do not establish either the incidence rate or the mean duration of the presence of parasites in blood (parasitological patency).

The incidence rate can be estimated from a population of newborn children by observing the onset of parasites, assuming that all newborn children are without any parasites in the circulating blood and that their relationships with *Anopheles* and *Plasmodium* are similar to those of older children or grown-ups.

A cohort study makes it possible to estimate the incidence rate and parasitological patency, using the model of BEKESSY *et al.* (1976). We did this with the juvenile population of 2 West Africa savanna villages where transmission is intense and seasonal.

Materials and methods

Study area

The 2 villages (Tago and Kongodjan) are located 60 km north of Bobo-Dioulasso (Burkina Faso), the former on the tarred road between Bobo and Mopti, the latter 15 km east of this road, in the bush. This is an area of dense savanna, changed by clearing for agricultural purposes. Average rainfall between 1982 and 1984 was 900 mm. The rainy season starts in May and ends in October.

Kongodjan is located in a clay hollow near an artificial permanent pond while Tago is on more porous ground, far from any permanent water.

A parasitological and entomological survey has been conducted in both villages (GAZIN *et al.*, 1985; ROBERT *et al.*, 1985). The results presented here are related to the period from the end of 1982 to early 1985.

Entomological survey

The aggressive anopheline, population was studied by the all night catches on human beings. Two night

catches were performed consecutively every 4 weeks between 2000 h and 0600 h in each village. The captured mosquitoes were identified, and *Anopheles gambiae*, *A. funestus* and *A. nili* were dissected the following morning for examination of salivary glands for sporozoites.

Results have been expressed as the number of infected bites per man over a given period. The entomological inoculation rate (h_e), obtained by multiplying the mosquito density and sporozoite index, has been expressed per man per night and per man per year. This entomological survey lasted the whole duration of the study in Kongodjan and during 1983 only in Tago.

Parasitological survey

Children examined were aged 6 months to 15 years. From each, peripheral blood was taken and thin and thick smears made, stained with Giemsa's stain and examined with a standardized procedure. 50 fields of the thick film were examined to detect malaria parasites (sexual and asexual stages), then 100 fields of the thin film were examined to identify species and evaluate the parasite density. Therefore we examined about 100 000 red blood cells. The parasite detection threshold was estimated at 100 parasitized red blood cells per mm³. Any "negative" sample could then contain from 0 to 99 parasitized cells/mm³.

Estimation of the daily incidence and recovery rates

Only individuals whose blood was taken in 2 consecutive surveys were included in the study. For each survey they were classified as *P. falciparum* carriers and non-carriers, disregarding the stage. Other *Plasmodium* species have not been taken into account. Transition frequencies from positive to negative and reciprocally were calculated as follows. α , the proportion of individuals which became positive in the second survey, but were negative in the first, is given by

$$\alpha = \frac{N-+}{N-};$$

β , the proportion of individuals which became negative in the second survey, but were positive in the first, is given by

$$\beta = \frac{N+-}{N+}.$$

The incidence rate h can be estimated from the proportions α and β by the following formula:

*This study was supported by a grant from the European Economic Community.

$$h = \frac{\alpha}{t(\alpha+\beta)} \times \log \frac{1}{1-(\alpha+\beta)}.$$

The recovery rate r is estimated thus:

$$\hat{r} = \frac{\beta}{t(\alpha+\beta)} \times \log \frac{1}{1-(\alpha+\beta)},$$

t being the duration of the interval between 2 surveys, in days. With these formulas, no estimate is possible if $(\alpha+\beta) \geq 1$.

For better understanding, \hat{h} and \hat{r} are expressed in the text as percentages.

$\frac{1}{h}$ corresponds to the parasitological latency duration, i.e. the duration of initial absence of parasites from the peripheral blood;

$\frac{1}{\hat{r}}$ corresponds to the parasitological patency duration, i.e. the duration of parasitaemia; and

$\frac{h}{h+\hat{r}}$ corresponds to the equilibrium value of the parasite rate.

Results

Malaria transmission level

The seasonal transmission of malaria was mainly by *A. gambiae* and *A. funestus*, and it varied from one village to the other.

In Kongodjan, transmission occurred from the beginning of June till the end of December. Maximal registered values were 2.4 infected bites per man per night (Table 1). Each inhabitant received an average of 0.63 infected bites every night during the whole transmission period (133 infected bites per man per year).

Table 1—Number of infective bites per man per night in Kongodjan

	1983	1984	1985
Jan.	0	0	0
Mar.	0	0	—
Apr.	0	0	—
May	0	0	—
Jun.	0.26	0.43	—
Jul.	0.77	0.25	—
Aug. (beginning)	2.45	0.51	—
Aug. (end)	0.13	0.62	—
Sep.	0	0.27	—
Oct.	0.82	1.9	—
Nov.	0.28	0.40	—
Dec.	0.14	0.26	—

Table 2—Number of subjects of the survey in Kongodjan

	$N++$	$N+-$	$N--$	$N-+$	Duration (days)
1 Jan. 1983—Mar.	12	6	6	4	60
2 Mar.—May	7	18	15	4	57
3 May—Jul.	26	4	20	24	65
4 Jul.—Sep.	33	15	9	15	71
5 Sep.—Nov.	43	20	14	14	63
6 Nov.—Feb. 1984	13	38	30	1	90
7 Feb.—May	1	11	56	4	69
8 May—Jul.	4	2	36	24	70
9 Jul.—Nov.	25	10	12	27	119
10 Nov.—Mar. 1985	25	34	24	10	110
11 Mar.—May	6	12	28	5	84

See text for explanation of symbols.

Table 3—Values of \hat{h} , \hat{r} , $\frac{1}{\hat{h}}$, $\frac{1}{\hat{r}}$, $\frac{\hat{h}}{\hat{h} + \hat{r}}$ and observed parasitological index in Kongodjan

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
\hat{h}	0.012	0.011	0.014	0.026	0.016	0.001	0.004	0.010	0.023	0.006	0.004
$\frac{1}{\hat{h}}$	83	91	71	38	62	1000	250	100	43	167	250
\hat{r}	0.010	0.036	0.003	0.013	0.010	0.016	0.056	0.009	0.009	0.012	0.017
$\frac{1}{\hat{r}}$	100	28	333	77	100	62	18	111	111	83	59
$\frac{\hat{h}}{\hat{h} + \hat{r}}$	0.55	0.23	0.82	0.66	0.62	0.06	0.07	0.53	0.72	0.33	0.19
P.I.	0.56	0.45	0.68	0.65	0.65	0.18	0.11	0.51	0.67	0.44	0.23

\hat{h} = estimated daily incidence rate; \hat{r} = estimated daily recovery rate;

$\frac{1}{\hat{h}}$ = estimated parasitological latency, in days;

$\frac{1}{\hat{r}}$ = estimated parasitological patency, in days; PI = observed parasitological index; numbers 1-11 relate to periods in Table 2.

Table 4—Number of infective bites per man per night in Tago

Apr. 1983	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
0	0	0.125	0.125	1.15	1.0	0.52	0	0

In Tago, the duration of transmission was shorter, from June to October. Maximal registered values were 1.1 infected bites per man per night (Table 4). During the transmission period, each inhabitant received an average of 0.58 infected bites every night (82 infected bites per man per year).

Parasitological results

In both villages, the average parasite rate in the 6-month to 15-year age group was approximately 30% during the dry season and 70% during the rainy season. The most frequent species was *P. falciparum*. *P. malariae* prevalence rate was approximately 5% and *P. ovale* 1%. The latter 2 species were commonly associated with *P. falciparum*. Entomological and parasitological results varied in both villages according to the season.

Daily incidence and recovery rates

In Kongodjan, daily incidence rate was about 1% from January to July 1983; it increased during the rainy season up to 2.6% from July to September, then decreased to 0.4% from November to May. The following year's values were similar.

Daily recovery rate varied in the opposite way: it was 1% from January to March 1983, reached 3.6% from March to May, decreased to 0.3% from May to

July, then remained at 1.2% till February 1984. From February to May, it reached 0.55%, then 1% from June 1984 to March 1985 (Tables 2 and 3).

In Tago, daily incidence rate was about 0.7% from December 1982 to June 1983; it reached 2.2% from June to September, then decreased to 1.2% from September to November and was under 0.2% from November to May. In 1984, variations were similar.

Daily recovery rate was about 1% from December to June; it fell to 0.5% from June to September, increased to 0.8% from September to November and to 1.5% from November to May (Tables 5 and 6).

Values of \hat{h} were equivalent in both villages throughout the year. On the contrary, \hat{r} values were higher in Kongodjan than in Tago during the dry season.

Values of $\frac{\hat{h}}{\hat{h} + \hat{r}}$ were close to the observed parasitological rates in both villages, though showing higher fluctuations.

Parasitological latency in Kongodjan was 90 d during the dry season, and 40 to 60 d during the transmission season. In the 1984 and 1985 dry seasons, values were extremely high. Parasitological patency lasted for fewer than 30 d in the 1983 and

Table 5—Number of subjects of the survey in Tago

	$N++$	$N+-$	$N--$	$N-+$	Duration (days)
1 Dec. 1982 —Feb.	7	4	6	2	57
2 Feb.— Apr.	7	12	19	4	75
3 Apr.— Jun.	9	8	28	11	69
4 Jun.— Sep.	17	3	10	23	71
5 Sep.— Nov.	19	8	6	5	68
6 Nov.— Feb. 1984	12	19	13	1	76
7 Feb.— May	3	9	28	2	102
8 May— Jul.	2	3	13	17	76
9 Jul.— Nov.	32	5	8	8	117
10 Nov.— Mar. 1985	16	22	10	1	104

See text for explanation of symbols.

Table 6—Values of \hat{h} , \hat{r} , $\frac{1}{\hat{h}}$, $\frac{1}{\hat{r}}$, $\frac{\hat{h}}{\hat{h}+\hat{r}}$ and observed parasitological index in Tago

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
\hat{h}	0.007	0.005	0.008	0.022	0.012	0.002	0.001	$\alpha+\beta \geq 1$	0.007	0.001
$\frac{1}{\hat{h}}$	143	200	125	45	83	500	1000	—	143	1000
\hat{r}	0.010	0.017	0.013	0.005	0.008	0.014	0.015	—	0.002	0.009
$\frac{1}{\hat{r}}$	100	59	77	200	125	71	67	—	500	111
$\frac{\hat{h}}{\hat{h}+\hat{r}}$	0.41	0.23	0.38	0.81	0.60	0.13	0.06	—	0.78	0.10
P.I.	0.43	0.24	0.40	0.72	0.69	0.29	0.14	0.66	0.73	0.41

\hat{h} = estimated daily incidence rate; \hat{r} = estimated daily recovery rate;

$\frac{1}{\hat{h}}$ = estimated parasitological latency, in days;

$\frac{1}{\hat{r}}$ = estimated parasitological patency, in days; PI = observed parasitological index; numbers 1-10 relate to periods in Table 5.

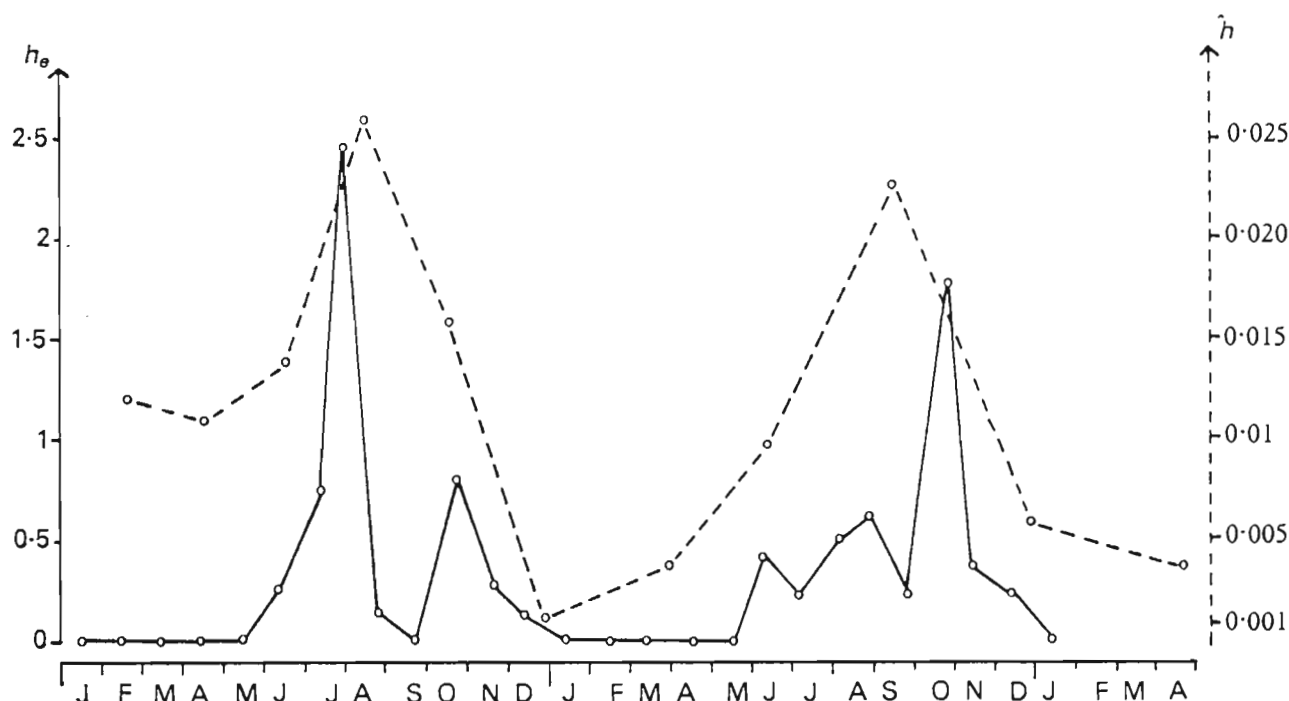


Fig. 1. Comparison between entomological inoculation rate and incidence rate in Kongodjan, 1983-1985; h_e = number of infected bites/man/night; h = estimated daily incidence rate.

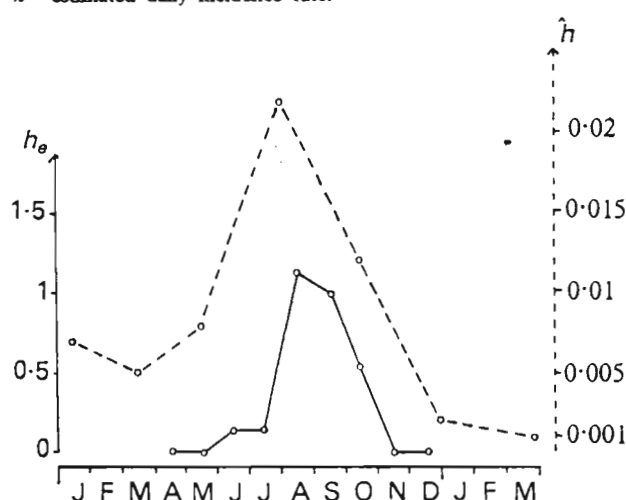


Fig. 2. Comparison between entomological inoculation rate and incidence rate in Tago, 1983-1984; h_e = number of infected bites/man/night; h = estimated daily incidence rate.

1984 dry seasons, and for 60 d in 1985. It was about 100 d during the transmission season.

Parasitological latency in Tago lasted about 130 d in the dry season, with extremely high maximum values. In the transmission season, it was about 45 to 90 d. Parasitological patency lasted about 75 d during the dry season and reached extremely high values during the transmission season, more than 200 d.

Discussion

People's attitude towards malaria

Malaria transmission in both villages was so intense that no one could avoid infection (GAZIN *et al.*, 1985b). Nobody took regular chemoprophylaxis. When ill, people used antimalarial drugs (essentially

chloroquine), mostly as a low, single dose. This chemotherapy reduced parasite density, but could not be considered a radical cure (BAUDON *et al.*, 1984).

In the absence of transmission, the organism progressively got rid of the parasites. There were only a few low-density carriers remaining by the end of the non-transmission season (April and May).

The recommencement of transmission occurred progressively and accelerated, for both entomological and parasitological reasons. It led to maximum transmission between August and October, along with the highest parasitological rates.

The mathematical model

The model for estimating daily incidence and recovery rates for *P. falciparum* is a simplified approach to the complicated relationship between man and malaria. It measures rates of onset and termination of episodes of patent parasitaemia, and assumes uniformity between persons in the interval.

Our sample size was not sufficient to divide the population into age classes. Nevertheless parasitological rates are relatively homogeneous between 1 and 15 years of age within the same village, mainly during the transmission season (GAZIN *et al.*, 1985). In these conditions separation into age classes does not seem necessary.

Values of \hat{h} and \hat{r} are sometimes very low ($<0.5\%$). A 500 d latency period between November and February would signify only a tendency to lengthen the theoretical latency period, compared with the previous period. Calculated values must not be considered exact values.

Results obtained by other users of the same model

BEKESSY *et al.* (1976) calculated \hat{h} and \hat{r} in Garki (northern Nigeria) in a biotope similar to the surroundings of Bobo-Dioulasso. The values they found

showed little seasonal variation, which can be explained by a more accurate detection level of their examination technique (examination of 200 thick film fields).

KRAFSUR & ARMSTRONG (1978) calculated \hat{h} and \hat{r} in Gambela, a small Ethiopian urban community where seasonal transmission is less than 15 infected bites per man per year. Among 0 to 14 year old children, \hat{h} and \hat{r} values were close to our observations.

CARNEVALE (1979), in what is now the People's Republic of the Congo, in a high and almost permanent transmission area, found a short latency period among children of about 50 d and an even shorter patency of about 25 d, with important and surprising seasonal variations.

COOSEMANS (1985) studied, in Burundi, 2 villages located in different biotopes, one in a cottonfield area, the other in a ricefield area. In the latter, the incidence rate was an average of 4 times as much as in the cottonfield area, whereas the recovery rate was longer nearly all year round.

DENG DA *et al.* (1985) observed in China, in a low transmission area, a low daily parasitological inoculation rate of 0.0012, near the daily entomological inoculation rate (0.0019). This situation was very different from those observed in sub-saharan Africa.

Comparison between entomological and calculated values of \hat{h}

During the high transmission season, average daily inoculation rates were about 30 times higher than incidence rates, calculated from the parasitological data (Figs 1 and 2). These findings emphasize the complexity of the relationship between man and malaria parasites in high transmission areas. In spite of daily infection man shows evidence of a patent parasitaemia only every 40 to 60 d. It is however possible that parasites stay in the blood at a density lower than our detectability threshold.

Immune protection and the use of antimalarial drugs, even at small doses, greatly limit parasite proliferation. As far as we know, all attempts at

malaria modelling are inadequate to explain and to measure this part of the relationship between man and malaria parasites. The \hat{h} and \hat{r} calculation implies that malaria is a disease involving accumulation of parasites, when it affects a population with a high level of immunity.

References

- Baudon, D., Devoucoux, R., Roux, J. & Sondo, B. (1984). Etude de la sensibilité de *Plasmodium falciparum* à la chloroquine dans une zone de savane du Burkina Faso à paludisme hyperendémique. *Bulletin de la Société de Pathologie Exotique*, 77, 658-665.
- Bekessy, A., Molineaux, L. & Storey, Y. (1976). The estimation of incidence and recovery rates of *Plasmodium falciparum* parasitaemia, from longitudinal data. *Bulletin of the World Health Organization*, 54, 685-693.
- Carnevale P. (1979). *Le paludisme dans un village des environs de Brazzaville*. Thèse de Sciences, Université de Paris Sud, 120 p.
- Coosemans, M. H. (1985). Comparaison de l'endémie malarienne dans une zone de riziculture et dans une zone de culture de coton dans la plaine de la Ruzizi, Burundi. *Annales de la Société Belge de Médecine Tropicale*, 65, (Suppl. 2), 187-200.
- Deng Da *et al.* (1985). *Chinese Journal of Epidemiology*, 6, pp. 7.
- Gazin, P., Robert, V. & Carnevale, P. (1985a). Etude longitudinale des indices paludologiques de deux villages de la région de Bobo-Dioulasso (Burkina Faso). *Annales de la Société Belge de Médecine Tropicale*, 65, (Suppl. 2), 181-186.
- Gazin, P., Robert, V., Akogbeto, M. & Carnevale, P. (1985b). Réflexions sur les risques d'infection palustre selon la densité et l'inféctivité anophéliennes. *Annales de la Société Belge de Médecine Tropicale*, 65, 263-269.
- Krafsur, E. S. & Armstrong, J. C. (1978). An integrated view of entomological and parasitological observations on falciparum malaria in Gambela, Western Ethiopian Lowlands. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 72, 348-355.
- Robert, V., Gazin, P., Boudin, C., Molez, J. F., Ouedrago, V. & Carnevale, P. (1985). La transmission du paludisme en zone de savane arborée et en zone rizicole des environs de Bobo-Dioulasso (Burkina Faso). *Annales de la Société Belge de Médecine Tropicale*, 65, (suppl. 2), 201-214.

Accepted for publication 16 June 1987

Ann. Soc. belge Méd. trop.
1985, 65, 263-269

REFLEXIONS SUR LES RISQUES D'INFECTION PALUSTRE SELON LA DENSITE ET L'INFECTIVITE ANOPHELIENNES

by

P. GAZIN¹, V. ROBERT¹, M. AKOGBETO² & P. CARNEVALE¹

¹Antenne ORSTOM auprès du Centre Muraz, B.P. 171, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

²OCCGE, B.P. 418, Cotonou, Bénin

Résumé — Le risque pour un individu séjournant en zone d'endémie palustre d'avoir au moins une piqûre d'anophèle infectée est calculé à partir des données entomologiques. En zone de forte transmission, le risque est proche de 1 chaque jour; en zone de faible transmission, le risque est proche de 1 chaque mois.

La réduction de la densité anophélienne ne fait que peu varier ce risque. Accompagnée d'une réduction de la longévité, elle ne permet une diminution marquée du risque que dans les zones de faible transmission.

KEYWORDS: Malaria; Infection Risk; Transmission; Epidemiology; Anopheles.

Introduction

Il est courant d'observer, dans les enquêtes paludologiques, une grande disparité entre le volet entomologique indiquant la quantité de transmission potentielle et le volet parasitologique représenté habituellement par la prévalence parasitaire.

Chez l'homme sans immunité acquise contre le paludisme, une seule piqûre d'anophèle infecté de sporozoïtes suffit au développement du parasite jusqu'aux manifestations cliniques du paludisme. Chez l'individu présumé, la situation est plus complexe. Les parasitémiennes patentes ne se traduisent pas fréquemment en Afrique subsaharienne par une maladie: l'accès fébrile ne survient que lorsqu'une certaine densité parasitaire est atteinte. Ce seuil pyrogénique est variable selon le degré d'immunité de l'hôte, lui-même conditionné par le rythme et la quantité d'inoculations (6).

Actuellement, on tend à reprendre la classification de Wilson et à considérer que le paludisme peut être transmis selon quatre modalités principales: transmission permanente, saisonnière longue, saisonnière brève, sporadique (3).

Il est intéressant de calculer, pour chacune de ces modalités de transmission, le risque de recevoir au moins une piqûre infectée pour une période de temps donnée, en postulant que l'anophèle choisit de façon aléatoire la victime de son repas sanguin.

Méthodologie: calcul du risque d'inoculation

Ce risque de recevoir au moins une piqûre infectée est calculé par la formule de Birley (4):

$$r = 1 - (1 - s)^{m.a.t.}$$

ou par la formule de Krafur et Armstrong (5): $r = 1 - e^{-h.t}$

s : indice sporozoïtique

m.a : nombre de piqûres d'anophèles par homme et par nuit

t : durée de la période considérée, en jours

$h = m.a.s.$ = taux d'inoculation quotidien.

Les deux formules sont équivalentes si s est inférieur à 0,20, ce qui est en pratique toujours le cas.

Le risque d'avoir au moins une piqûre infectée est fonction de l'indice sporozoïtique et du nombre de piqûres d'anophèles pendant la période considérée. Ce dernier paramètre, «densité», est un exposant dans la formule de Birley. Une variation importante du nombre d'anophèles n'entraîne qu'une faible variation du risque. La courbe reliant le «risque» au taux d'inoculation (fig. 1) montre que le risque est:

- de 0,10 avec un taux d'inoculation de 0,1
- de 0,39 avec un taux d'inoculation de 0,5
- de 0,63 avec un taux d'inoculation de 1
- de 0,86 avec un taux d'inoculation de 2
- de 0,95 avec un taux d'inoculation de 3

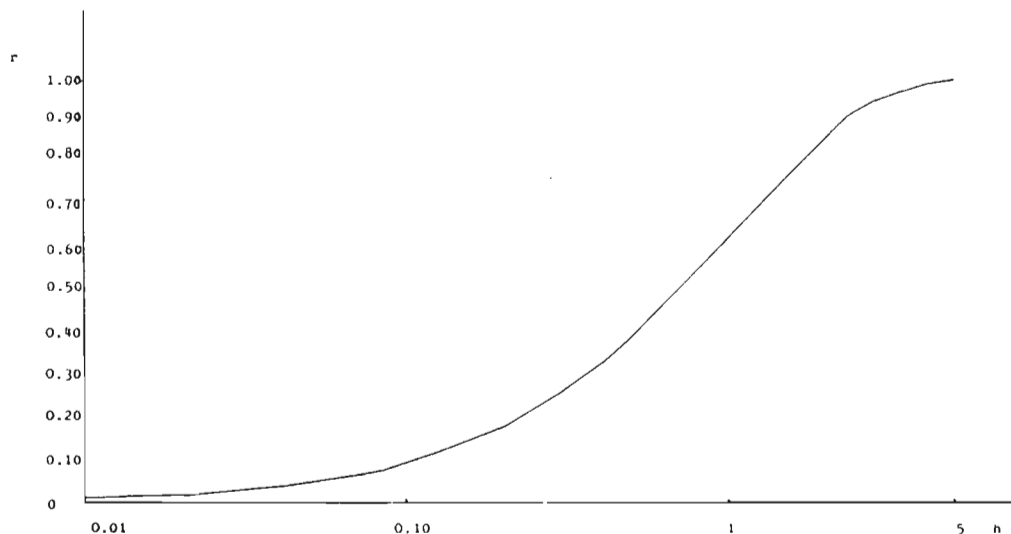


Figure 1.

Variation de r en fonction de h, exprimée en données semi-logarithmiques.

r = risque d'inoculation; h = taux d'inoculation quotidien.

Nous avons établi un abaque où le risque r est en ordonnée, l'indice sporozoïtique est en abscisse et où les courbes désignent le nombre de piqûres (m.a.) par homme et par nuit (fig. 2 et 3).

Résultats

Evaluation des risques d'inoculation dans les principaux faciès épidémiologiques

En fonction des données entomologiques relevées dans les principaux faciès épidémiologiques, on peut calculer les risques d'impaludation suivants :

Lieu	Mode de transmission	Données entomologiques	Risque
Congo Djoumouna (4)	permanente	m.a. = 97 s = 0,029 h = 2,81	r quotidien : 0,942
Burkina Faso Kongodjan savane arborée (7)	saisonnière longue 7 mois	au maximum de la transmission : m.a. = 46 s = 0,05 h = 2,3	r quotidien : 0,905
Burkina Faso zone rizicole du Kou (7)	saisonnière longue 4 mois	au maximum de la transmission : m.a. = 42 s = 0,0098 h = 0,41	r quotidien : 0,339
Sénégal Aéré Lao région du Fleuve (8)	saisonnière brève un mois et demi	m.a. = 19 s = 0,004 h = 0,082	r quotidien : 0,073 r annuel : 0,967
Bénin Agbalilamé milieu lagunaire (1)	saisonnière brève un mois et demi	m.a. = 47 s = 0,004 h = 0,19	r quotidien : 0,172 r annuel : 0,999

Réflexions sur la lutte antivectorielle

La lutte antivectorielle peut être une lutte antilarvaire, qui réduit la densité anophélienne, ou une lutte imagocide, qui réduit la densité et la longévité de la population anophélienne imaginale.

Lutte antilarvaire

La lutte antilarvaire n'entraînant pas de réduction de la longévité des adultes, elle n'intervient pas sur l'indice sporozoïtique.

En zone de transmission permanente type Congo, une réduction de 20 fois de la population anophélienne (de 97 à 4,85 piqûres/homme/nuit) conservant son infectivité (s : 0,029) entraîne une diminution du risque quotidien de 0,942 à 0,133, soit environ 7,3 fois (ligne A-B de la figure 2). Mais, même dans ces conditions, avec une telle réduction de la densité, le risque mensuel est de 0,986.

En zone de transmission saisonnière longue type savane du Burkina Faso, une réduction de 20 fois de la population anophélienne (de 46 à 2,3 piqûres/homme/nuit) entraîne une diminution du risque quotidien de 0,905 à 0,111, soit 8,2 fois.

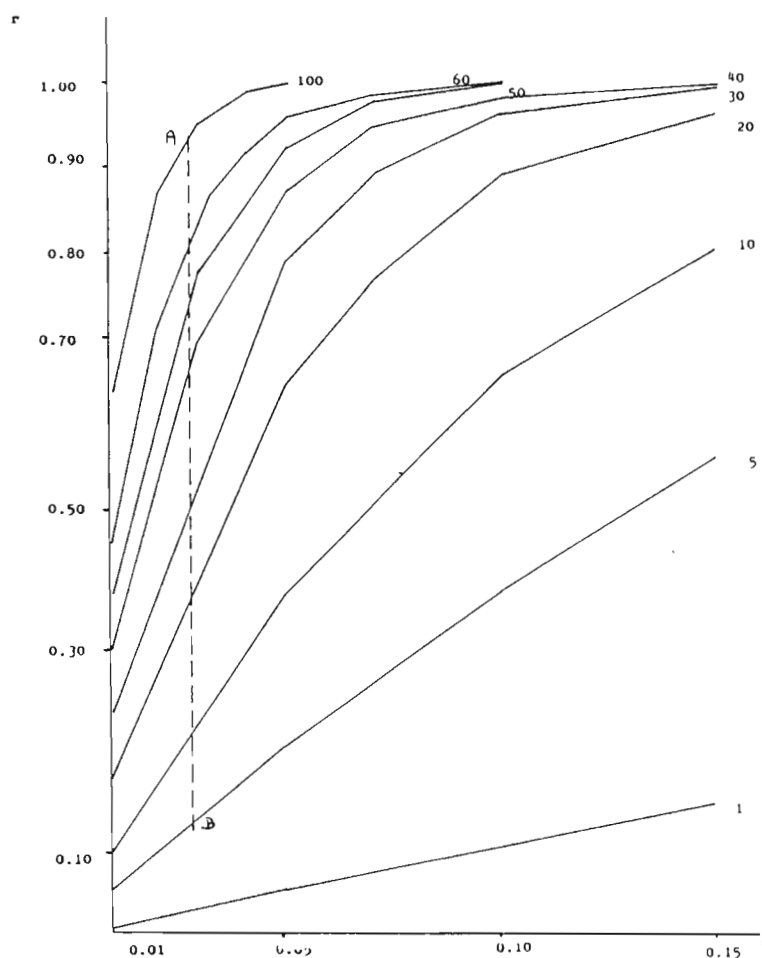


Figure 2.

Risque d'infection en fonction du nombre de piqûres et de l'indice sporozoïtique.

r = risque d'inoculation.
 $m.a.$ = nombre de piqûres d'anophèles par homme et par nuit.
 s = indice sporozoïtique.

Dans ces deux faciès, Congo et Burkina Faso, le risque mensuel étant de l'ordre de 0,98, il est utopique d'espérer arrêter ainsi la transmission.

En zone rizicole du Kou, une réduction de la densité de 20 fois fait passer le risque quotidien de 0,339 à 0,0205, mais le risque mensuel est encore de 0,462.

Dans le cas de la région du Fleuve au Sénégal, il faut réduire de 64 fois la densité anophélienne (de 1.600 à 25 piqûres par homme et par an) pour réduire le risque annuel de 0,967 à 0,095 (ligne C-D de la figure 3).

Dans le cas du milieu lagunaire au Bénin, il faut réduire de 50 fois la densité anophélienne pour réduire le risque annuel de 0,999 à 0,165.

Lutte imagicide

La lutte imagicide entraîne une baisse de la densité anophélienne et de la longévité de la population, donc de l'indice sporozoïtique.

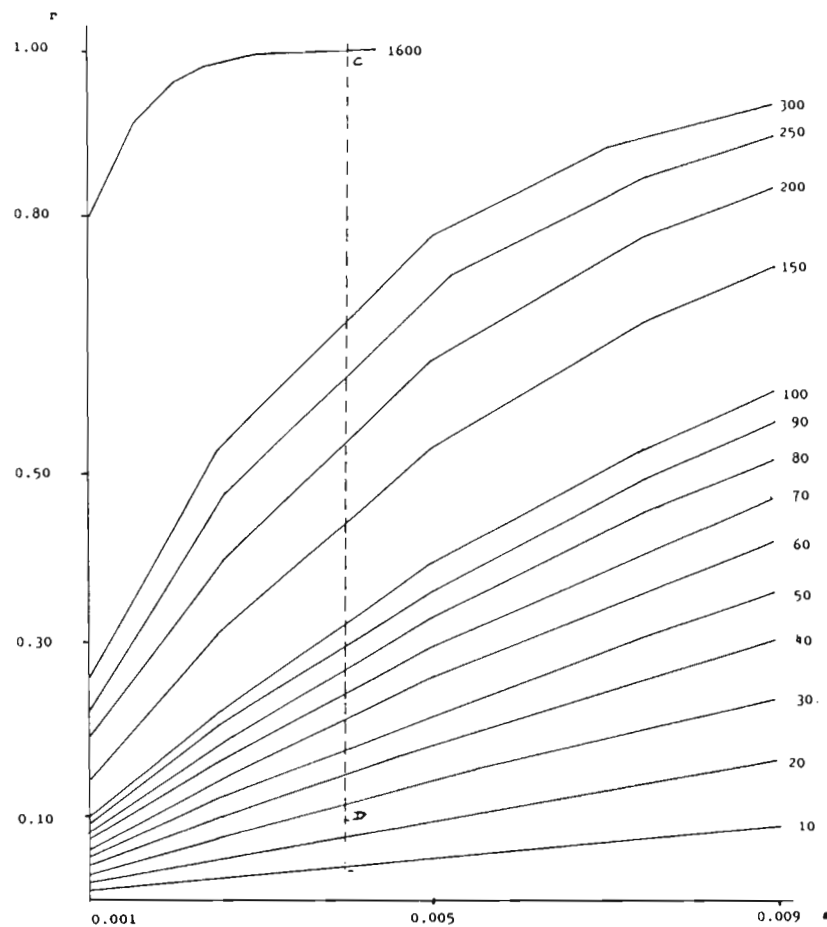


Figure 3.
 Risque d'infection en fonction du nombre
 de piqûres et de l'indice sporozoïtique.
 r = risque d'inoculation.
 m.a. = nombre de piqûres d'anophèles par homme et par nuit.
 s = indice sporozoïtique.

En zone de transmission permanente type Congo, si on réduit de 10 fois le nombre de piqûres par homme et par nuit (de 97 à 9,7) et l'indice sporozoïtique (de 0,029 à 0,0029), le risque quotidien passe de 0,942 à 0,028 (soit une réduction de 31 fois). Mais le risque mensuel est encore de 0,570, soit pour la population de ce village, plus d'une chance sur deux d'être impaludée chaque mois.

De même, en zone de transmission saisonnière longue type savane, une réduction de 10 fois du nombre de piqûres par homme et par nuit (de 46 à 4,6) et de l'indice sporozoïtique (de 0,05 à 0,005) fait passer le risque quotidien de 0,905 à 0,023 (soit une réduction de 45 fois). Mais le risque mensuel est encore de 0,499 et le risque annuel de 0,992.

En zone de transmission saisonnière brève comme la région du Fleuve au Sénégal, une action de lutte anti-adulte ayant la même efficacité entomologique (réduction de 10 fois de la densité et de l'infectivité des vecteurs) sera

suivie d'une diminution spectaculaire du risque d'impaludation: de 0,073 à 0,0008 pour le risque quotidien, de 0,967 à 0,034 pour le risque annuel. Dans ce faciès, une lutte antivectorielle par imagocide peut donc être envisagée.

Conclusion

Ces évaluations donnent une idée de l'extrême stabilité du paludisme en zone de transmission permanente ou saisonnière longue, et de la possibilité de prévalences parasitaires élevées dans des faciès où la transmission est brève, voire sporadique.

L'indice plasmodique et la densité parasitaire ne reflètent pas le rythme et la quantité de transmission. Ils donnent une indication sur les réponses immunitaires de la population étudiée. Ces réponses sont en relation avec la transmission par des mécanismes encore mal connus et probablement variables selon les faciès épidémiologiques, les souches parasitaires, les populations humaines.

En zone de transmission permanente ou saisonnière longue, la lutte antivectorielle ne peut aboutir à un arrêt de la transmission mais simplement à sa diminution. Cette réduction des inoculations peut être suivie d'une réduction des fortes charges parasitaires et d'une certaine diminution de la morbidité palustre ainsi que cela a été observé au Congo (2). Ce n'est qu'en zone de faible transmission qu'une campagne antivectorielle bien menée peut théoriquement permettre un arrêt de la transmission.

Reflections on the malaria infection risk according to the anopheline density and infectivity.

Summary — For every human individual in a malaria endemic area, the risk for experiencing at least one infected anopheles bite is computed from the entomological data by the following formulae:

$$r = 1 - (1 - s)^{m.a.t.}$$

$$r = 1 - e^{-h.t.}$$

The two formulae are equivalent when s is less than 0,20.

In high transmission areas, the risk is near 1 everyday. Which means that everyone is at risk to be infected daily. In low transmission areas the risk is near 1 every month.

Anti-vectorial control based on antilarvae measures reduces the anopheles density without reducing the sporozoitic index. It induces only a low decrease of the infection risk.

Anti-adult control reduces both density and longevity of the vector and therefore the sporozoitic index. In low or sporadic transmission areas, it may lead to a drastic decrease of the infection risk.

Beschouwingen over the risico voor malaria infectie in relatie tot de densiteit en de infectiviteit der anophelen.

Samenvatting — Voor ieder persoon in een streek met endemische malaria kan het risico om tenminste één geïnfecteerde anopheles beet te ervaren, worden berekend met behulp van onderstaande formules:

$$r = 1 - (1 - s)^{m.a.t.}$$

$$r = 1 - e^{-h.t.}$$

De twee formules zijn gelijkwaardig wanneer s kleiner is dan 0,20.

In streken met hoge transmissie is het risico haast 1 per dag. Dit betekent dat iedereen dagelijks het risico loopt geïnfecteerd te worden. In streken met lage transmissie is het risico 1 per maand.

Anti-vector controle gebaseerd op antilarven maatregelen reduceert de anopheles densiteit zonder de sporozoië index te verlagen. Het risico voor infectie wordt slechts matig verminderd.

Anti-adulten controle verlaagt zowel de densiteit als de levensverwachting van de vector en daardoor ook de sporozoië index. In streken met lage of sporadische transmissie kan dit leiden tot een drastische vermindering van het risico op infectie.

Reçu pour publication le 31 décembre 1984.

REFERENCES

1. Akogbeto MC: Epidémiologie du paludisme en zone côtière lagunaire (Cotonou, République Populaire du Bénin). Doc. Techn. OCCGE n° 8 425/84, 31 pp.
2. Bitsindou GG: Impact des traitements insecticides sur la transmission du paludisme et sa morbidité dans un village des environs de Brazzaville. Thèse de 3^e cycle. Faculté des Sciences Orsay, 1983.
3. Boyd MF: Malariology. Philadelphia, Saunders, 1949, vol. 2, 800-809.
4. Carnevale P: Le paludisme dans un village des environs de Brazzaville. Thèse Sciences naturelles. Faculté des Sciences Orsay, 1979.
5. Krafur ES, Armstrong JC: An integrated view of entomological and parasitological observations of falciparum malaria in Gambela, Western Ethiopian Lowlands. Trans. Roy. Soc. trop. Med. Hyg., 1978, **72**, 348-356.
6. OMS: Terminologie du paludisme et de l'éradication du paludisme. Genève, Organisation Mondiale de la Santé, 1964, 176 pp.
7. Robert V, Gazin P, Boudin C, Molez JF, Ouedraogo V, Carnevale P: La transmission du paludisme en zone de savane arborée et en zone rizicole des environs de Bobo-Dioulasso (Burkina Faso). Ann. Soc. belge Méd. trop., 1985, **65**, Suppl. 2.
8. Vercruysse J: Etude entomologique sur la transmission du paludisme humain dans le bassin du fleuve Sénégal. Ann. Soc. belge Méd. trop., 1985, **65**, Suppl. 2.

4. Réduire la transmission

- 4.1. Evaluation de l'efficacité sur les vecteurs du paludisme de la perméthrine en imprégnation sur des moustiquaires intactes et trouées.
DARRIET F., ROBERT V., THO VIEN N. & CARNEVALE P.
Organisation mondiale de la Santé, Genève, 1984, WHO / VBC / 84.899 ou WHO / MAL / 84.1008.....p. 255
- 4.2. La lutte contre le paludisme par des moustiquaires imprégnées de pyréthrynoïdes au Burkina Faso.
CARNEVALE P., ROBERT V., BOUDIN C., HALNA J.-M., PAZART L., GAZIN P., RICHARD A. & Mouchet J.
Bull. Soc. Path. exot., 1988, sous presse.....p. 275
- 4.3. Influence de la deltaméthrine en imprégnation de moustiquaires trouées sur le contact homme-moustiques et sur la mortalité des moustiques.
ROBERT V., DIOMANDÉ L. & CARNEVALE P. A paraître.....p. 293
- 4.4. Pyrethroid impregnated bed nets in the malaria control strategy at community level.
ROBERT V., CARNEVALE P. & MOUCHET J.
Acta tropica, sous presse.....p. 303
- 4.5. Evaluation sur homme et sur moustiquaire de l'activité d'un savon contenant un répulsif et un pyréthrynoïde.
DIOMANDÉ L., ROBERT V. & CARNEVALE P.
A paraître.....p. 305
- 4.6. Influence de deux stratégies médicamenteuses par chloroquine (prophylaxie et thérapie des accès fébriles) sur la transmission du paludisme.
ROBERT V., HERVY J.-P., BAUDON D., ROUX J., LEGROS F. & CARNEVALE P.
Bull. Soc. Path. exot., 1989. A paraître.....p. 315
- 4.7. Les résidants non immuns face au paludisme.
ROBERT V., RICHARD A. & MOUCHET J.
ORSTOM Actualités, 1988, 21: 4-5.....p. 321



EVALUATION DE L'EFFICACITE SUR LES VECTEURS
DU PALUDISME DE LA PERMETHRINE
EN IMPREGNATION SUR DES MOUSTIQUAIRES INTACTES ET TROUEES¹

par

F. Darriet,² V. Robert,² N. Tho Vien³ et P. Carnevale²

1. INTRODUCTION

L'utilisation d'étoffes imprégnées d'insecticide pour la lutte contre les insectes vecteurs est envisagée depuis longtemps, notamment pour les glossines (Rupp, 1952).

Ce procédé est même devenu opérationnel en Afrique occidentale pour le contrôle des glossines riveraines (*Glossina tachinoides*, *G. palpalis gambiensis*) à l'aide de pièges biconiques imprégnés de deltaméthrine (Laveissière et al., 1980a,b,c; 1981a et b) ou d'écrans imprégnés de deltaméthrine (Laveissière et Couret, 1981) ou de dieldrine (Laveissière et Couret, 1983).

Par ailleurs, des essais sont actuellement en cours au Cameroun pour le contrôle des simuliés par cette technique (Traore-Lamizana, com. pers.).

Il était intéressant de tester cette méthode dans la lutte anti-anophèles en imprégnant non plus les murs des maisons (house spraying) mais les moustiquaires dans le cadre d'un contrôle du paludisme réalisable au niveau des collectivités rurales.

L'étude a été réalisée à la station expérimentale de Soumouso, un centre participant avec l'OMS à l'évaluation, en phase II, de l'efficacité des insecticides.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1 Caractérisation du village expérimental

La station expérimentale de Soumouso a été créée en 1968, elle se compose de 20 habitations d'une pièce, construites dans les styles traditionnels locaux et aménagées en "cases-pièges".

On compte : 10 habitations de style "Mossi" aux murs circulaires en brique ou en latérite recouvertes de boue séchée (banco), coiffées d'un toit conique de paille, et 10 habitations de style "Bobo" parallélépipédiques, aux murs de briques de terre, crépis de boue séchée, recouvertes d'un toit plat composé de lourds branchages soutenant une couche de boue séchée.

¹ Cette étude bénéficie d'un appui financier de l'Organisation mondiale de la Santé.

² Entomologistes médicaux de l'ORSTOM, équipe ORSTOM auprès de l'OCCGE, Centre Muraz, B.P. 171, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso.

³ Institut de Malariologie, Hanoi, Viet Nam.

Les dispositifs particuliers pour les captures de moustiques sont :

- a) des ouvertures contrôlées : fentes en chicane pour les cases "Bobo" (pièges-fenêtres d'entrée), interstices entre murs et plafonds munis de chicanes de Textiglass pour les cases "Mossi", et
- b) une véranda-piège : cadre métallique tendu de Textiglass, lui-même doublé de tulle accolé au flanc est de chaque case et cernant une large ouverture (équivalent d'une porte de sortie pour les moustiques).

L'expérimentation des moustiquaires imprégnées a nécessité la construction de quatre cases "témoins" (deux Bobo et deux Mossi) supplémentaires.

Une petite unité météorologique installée à la station permet d'évaluer la pluviométrie locale. On remarque un important déficit hydrique enregistré en 1983 (700 mm de pluies) par rapport à 1982 (1100 mm).

2.2 Insecticide utilisé

Nous avons imprégné les moustiquaires avec la perméthrine, présentée sous la forme de concentré émulsifiable (CE) à 20 % de matière active. Cet insecticide a été reçu le 5 avril 1983.

2.3 Moustiquaires

2.3.1 Modèles

Nous avons expérimenté deux modèles de moustiquaires : modèle individuel et collectif dont les surfaces totales sont respectivement de 10 m² et 13,5 m².

Ces moustiquaires ont été confectionnées avec du tulle coton (Black Brothers and Boden, Nottingham, Grande-Bretagne) et de la percale coton achetée sur le marché de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso.

Il est d'observation courante que les moustiquaires utilisées en milieu rural sont généralement détériorées, tandis que Port et Boreham (1982) ont montré une relation entre l'importance des trous et le pourcentage de moustiques qui peuvent se gorger. Nous avons donc pratiqué volontairement sur la moitié des moustiquaires (18 sur 36) une série de trous carrés de 100 cm². (Dans une moustiquaire individuelle 50 trous et dans une moustiquaire collective 70 trous.) Pour les moustiquaires trouées, la totalité des trous représentait initialement 5 % de la surface de la moustiquaire.

2.3.2 Modalité de l'imprégnation

L'imprégnation des moustiquaires s'est déroulée durant la semaine du 20 au 25 juin 1983. Nous avons préalablement calculé la quantité d'eau qu'absorbait chaque type de moustiquaire pour ne pas avoir lors du séchage un écoulement d'eau qui se traduit par une perte d'insecticide.

Les moustiquaires individuelles absorbaient une quantité d'eau égale à 900 ml et les moustiquaires collectives 1200 ml. La dose unique de 0,08 g/m² sur tulle et percale par moustiquaire a été retenue au vu d'études précédentes. Le calcul des doses d'imprégnation est donné en annexe.

Les moustiquaires imprégnées et séchées (à plat pendant 90 minutes) ont été emballées dans du papier kraft jusqu'à leur pose dans les maisons. Le personnel préposé aux manipulations (préparation des solutions, imprégnation et pose des moustiquaires) n'a relevé aucun symptôme d'intoxication ni d'irritation épidermique.

Pour l'imprégnation, le personnel manipulant l'insecticide a pris les mesures de protection habituelles.

2.3.3 Modalités expérimentales

L'expérimentation a comporté les conditions suivantes :

- 2 cases Bobo et 2 cases Mossi : moustiquaires individuelles intactes traitées
- 2 cases Bobo et 2 cases Mossi : moustiquaires individuelles trouées traitées
- 2 cases Bobo et 2 cases Mossi : moustiquaires collectives intactes traitées
- 2 cases Bobo et 2 cases Mossi : moustiquaires collectives trouées traitées
- 1 case Bobo et 1 case Mossi : moustiquaires individuelles intactes non traitées
- 1 case Bobo et 1 case Mossi : moustiquaires individuelles trouées non traitées
- 1 case Bobo et 1 case Mossi : moustiquaires collectives intactes non traitées
- 1 case Bobo et 1 case Mossi : moustiquaires collectives trouées non traitées.

Nous avons disposé, soit deux moustiquaires individuelles, soit une moustiquaire collective par case; en tout, 36 moustiquaires ont été expérimentées.

Pendant la nuit, dans chaque case, une personne dort de 20 heures à 6 heures sous une moustiquaire individuelle et trois personnes dorment sous une moustiquaire collective.

La répartition des différents types de moustiquaires par case a été réalisée en adoptant une distribution symétrique par rapport aux emplacements centraux des témoins.

Les moustiquaires ont été installées dans les maisons le 27 juin 1983 et retirées le 27 novembre 1983. La première capture a eu lieu le 4 juillet 1983, soit une semaine après la pose des moustiquaires et deux semaines après leur imprégnation.

Le personnel ayant manipulé les moustiquaires, lors de leur mise en place, n'a ressenti aucun effet irritant bien que cette opération ait été conduite sans précautions particulières. Durant toute la durée de l'expérimentation un infirmier auxiliaire était présent sur le site, tandis qu'un entomologiste se rendait sur les lieux trois fois par semaine. Aucune récrimination de la part des volontaires ayant dormi sous les moustiquaires traitées n'a été enregistrée ni aucun symptôme d'irritation observé. De plus, il a été constaté que les moustiquaires ne dégageaient aucune odeur particulière.

2.4 Modalités d'évaluation

L'évaluation a été conduite selon deux protocoles :

2.4.1 Captures journalières dans les cases-pièges

Six jours par semaine (du lundi au samedi inclus), les moustiques sont régulièrement récoltés à la main au tube, trois fois dans la matinée, selon la chronologie suivante :

- 05 h : cette capture est faite avant la sortie des dormeurs. Elle comporte la récolte des ♂ morts et vivants dans la moustiquaire, la véranda-piège et des moustiques morts ♀ dans la case.
Les dormeurs ne sortent des cases que lorsque la capture de 05 h est terminée;
- 08 h : capture des moustiques morts et vivants dans la moustiquaire, la véranda-piège et la case;
- 10 h : capture des moustiques morts et vivants dans la moustiquaire, la veranda-piège et la case.

Les moustiques récoltés sont identifiés et triés (morts - vivants). Les lots de moustiques vivants sont étiquetés en fonction de l'heure et du lieu de la capture (moustiquaire - case - véranda-piège) et mis en observation pendant 24 heures, dans des gobelets de carton munis d'un

tampou de coton imbibé d'eau glucosée. Les moustiques morts sont alors dénombrés. La mortalité totale est obtenue par le cumul des mortalités immédiates et différées.

2.4.2 Essais biologiques

Le but des essais biologiques (= test de rémanence) est de contrôler l'évolution dans le temps de l'efficacité de l'insecticide.

Les tests ont consisté en l'étude de la mortalité de femelles d'élevage (Aedes aegypti, souche Kari)¹ fraîchement gorgées, introduites dans des cônes de matière plastique maintenus en contact une heure avec l'un et l'autre des deux tissus entrant dans la composition de la moustiquaire.

Les cônes sont fixés sur la moustiquaire à l'aide d'un élastique qui plaque le tissu à étudier sur toute la surface ouverte du cône.

Après une heure de contact avec les substrats traités, les morts sont dénombrés et les survivants sont gardés en observation pendant 24 heures pour l'estimation de la mortalité totale.

Afin de respecter le nombre de quatre cônes par case, nous avons posé les cônes de façon différente selon le type de moustiquaire. Pour les moustiquaires collectives, pose de quatre cônes, deux sur tulle et deux sur percale; pour les moustiquaires individuelles, au nombre de deux par case, pose de deux cônes sur chaque moustiquaire, un sur le tulle et l'autre sur la percale.

La rémanence a ainsi été évaluée, une fois par semaine, pendant toute la durée de la campagne, sur chacun des deux supports, tulle coton et percale coton.

3. RESULTATS ET OBSERVATIONS

3.1 Captures générales

Au cours des 21 semaines de l'expérimentation, nous avons récolté 4682 femelles de moustiques dont :

<u>An. gambiae</u>	1 058
<u>An. funestus</u>	3 079
<u>An. nili</u>	228
<u>An. flavicosta</u>	4
<u>An. rufipes</u>	6
<u>Ma. africana</u>	174
<u>Ma. uniformis</u>	133

Les effectifs bimensuels des principales espèces sont regroupés dans le tableau 1.

On constate qu'An. gambiae a été plus abondant qu'An. funestus au début de la saison des pluies. A partir de septembre, An. funestus a été plus abondant qu'An. gambiae dont la densité reste à peu près constante durant toute la saison des pluies. La différence dans les effectifs de ces deux espèces a été particulièrement nette dès le début de la saison sèche. Cette alternance de vecteurs est classique dans la région (Choumara et al., 1959).

Les résultats des captures journalières doivent être analysés en tenant compte des modifications de comportement des Culicidae, induites par le traitement insecticide des moustiquaires.

¹ Nom du village de Burkina Faso dont cette souche provient.

3.2 Influence des moustiquaires imprégnées d'insecticide sur la densité d'anophèles dans les cases

Les effectifs d'An. gambiae et An. funestus prélevés dans les cases Bobo et Mossi pourvues de moustiquaires imprégnées ou non de perméthrine sont indiqués dans le tableau 2.

En rapportant ces chiffres au nombre de cases expérimentées (tableau 2, ligne 16), on constate qu'en moyenne, la présence de moustiquaires imprégnées a réduit de 69 % pour An. gambiae (respectivement de 81,6 ♀/case à 25,3 ♀/case) et 73 % pour An. funestus (de 249,7 ♀/case à 67,6 ♀/case) le nombre d'individus pris dans les maisons.

Cette influence de la moustiquaire imprégnée sur la réduction des effectifs anophéliens pris dans les maisons s'est fait inégalement ressentir selon le type de case et de moustiquaire.

3.2.1 Influence du modèle de case

		Case Bobo		Case Mossi		X ²
		Moustiquaire		Moustiquaire		
		Imprégnée	Témoin	Imprégnée	Témoin	
<u>An. gambiae</u>	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Effectif} \\ \neq \end{array} \right.$	25,4 ♀/case	58 ♀/case	25,3 ♀/case	105,2 ♀/case	3,46
		$\Delta = - 56 \%$		$\Delta = - 76 \%$		
<u>An. funestus</u>	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Effectif} \\ \neq \end{array} \right.$	58,6	247,5	76,5	252,0	1,62
		$\Delta = - 76 \%$		$\Delta = - 70 \%$		

Bien que statistiquement non significative ($X^2 = 3,46$ pour 1 ddl), la réduction est plus importante pour An. gambiae dans les cases Mossi (- 76 %) que dans les cases Bobo (- 56 %).

Pour An. funestus, la réduction du taux d'entrée due à la présence des moustiquaires imprégnées est du même ordre de grandeur ($\simeq 70$ %) dans les deux modèles d'habitation.

On peut penser que les cases Mossi, moins hermétiques et mieux aérées que les cases Bobo, laissent mieux diffuser les substances volatiles irritantes pour An. gambiae et l'effet "répulsif" de la case pourrait être alors perçu même à une certaine distance de celle-ci.

3.2.2 Influence du modèle de moustiquaire

Individuelles/collectives

L'effectif d'anophèles par case a toujours été plus important dans les maisons pourvues de moustiquaires collectives (trois sujets/maison) que dans les maisons pourvues de moustiquaires individuelles (deux sujets/maison). Cette différence a été visible, que la moustiquaire ait été imprégnée d'insecticide ou non.

		Moustiquaires imprégnées	Moustiquaires non imprégnées	Δ
Moustiquaires individuelles (intactes + trouées)	<u>An. gambiae</u>	19,4 ♀/case	21,0 ♀/case	-8 %
	<u>An. funestus</u>	45,5 ♀/case	107,2 ♀/case	-58 %
Moustiquaires collectives (intactes + trouées)	<u>An. gambiae</u>	31,2 ♀/case	142,2 ♀/case	-78 %
	<u>An. funestus</u>	89,6 ♀/case	392,2 ♀/case	-77 %

Dans les maisons pourvues de moustiquaires imprégnées, la présence d'une moustiquaire collective plutôt que deux moustiquaires individuelles a augmenté le nombre d'anophèles prélevés de 60 % pour An. gambiae et de 97 % pour An. funestus.

Dans les maisons témoins, le nombre d'An. gambiae a été multiplié par 6,8 et celui d'An. funestus a été multiplié par 3,7 dans les cases pourvues de moustiquaires collectives par rapport à celles contenant des moustiquaires individuelles.

Par ailleurs, le fait d'imprégner la moustiquaire a fortement réduit les effectifs capturés. Dans les maisons pourvues de moustiquaires collectives, cette réduction est de l'ordre de 80 % pour An. gambiae comme pour An. funestus. Cette réduction est moins marquée dans le cas des moustiquaires individuelles mais elle est tout de même de 58 % pour An. funestus et 8 % pour An. gambiae.

		Moustiquaires imprégnées	Moustiquaires non imprégnées	Δ
<u>An. gambiae</u>	(M. intactes)	27,7	41,0	-32 %
	(M. trouées)	22,9	122,2	-81 %
<u>An. funestus</u>	(M. intactes)	77	143,2	-46 %
	(M. trouées)	58,1	356,2	-84 %

Pour An. gambiae, l'imprégnation des moustiquaires réduit les effectifs de 32 % lorsque les moustiquaires sont initialement intactes et de 81 % lorsque les moustiquaires sont initialement trouées.

Pour An. funestus, les réductions sont de 46 % si les moustiquaires sont intactes et de 84 % si les moustiquaires sont trouées.

Ces résultats inattendus peuvent être imputés à l'attractivité toute particulière des cases témoins à moustiquaires collectives trouées (tableau 2).

3.3 Influence des moustiquaires imprégnées sur l'exophilie des anophèles

Les effectifs d'An. gambiae et An. funestus prélevés dans les cases, sous les moustiquaires et sous les vérandas-pièges, dans chaque situation expérimentale, sont consignés dans les tableaux 3a et 3b.

Dans les maisons à moustiquaires non imprégnées, 33 % des An. gambiae et 27 % des An. funestus sont récoltés le matin dans les vérandas-pièges; 10 à 15 % des anophèles sont prélevés sous les moustiquaires et 50 à 60 % sont prélevés dans la case (sur les murs ou sous les toits).

Les situations sont totalement différentes dans les maisons à moustiquaires imprégnées de perméthrine (voir figure). Dans ces conditions, 97 % des anophèles capturés le matin sont pris dans la véranda-piège, soit une exophilie triplée par rapport à celle enregistrée normalement pour An. gambiae et An. funestus. Environ 2 % des spécimens sont pris dans la case. A l'intérieur des moustiquaires imprégnées, il n'y a quasiment pas de moustiques (5 ♀ d'An. gambiae et 1 ♀ d'An. funestus en 5 mois de capture).

Cette spectaculaire augmentation de l'exophilie traduit parfaitement l'effet "irritant", par ailleurs bien connu, de la perméthrine.

3.4 Influence des moustiquaires imprégnées sur l'alimentation sanguine des anophèles

Pour évaluer l'influence de la présence des moustiquaires imprégnées d'insecticide sur l'agressivité d'An. gambiae et An. funestus vis-à-vis de l'homme, la nuit dans les maisons, nous avons précisé l'état physiologique des femelles capturées le matin dans les maisons et précisé aussi le nombre (et le pourcentage) de femelles gorgées (tableau 4a et 4b). Le rapport $\frac{\text{Nb gorgées}}{\text{Nb} + \text{capturées}}$ est appelé "taux de gorgement".

Moustiquaires		Taux de gorgement			
		<u>An. gambiae</u>		<u>An. funestus</u>	
			Moyenne		Moyenne
Imprégnées	intactes	75,2 %	78,0 %	90,7 %	87,6 %
	trouées	80,9 %		84,5 %	
Non imprégnées	intactes	94,5 %	96,7 %	95,5 %	96,6 %
	trouées	99,0 %		97,8 %	

Il apparaît que la présence de moustiquaires imprégnées d'insecticide, qu'elles soient intactes ou trouées, a réduit d'environ 20 % le taux de gorgement d'An. gambiae et de presque 10 % celui d'An. funestus.

Notons que pour chacune de ces deux espèces, ces taux sont semblables dans les deux types de cases, Bobo et Mossi, et que le taux de gorgement d'An. gambiae le plus faible (57 %) a été enregistré dans les cases Bobo pourvues de moustiquaires collectives imprégnées intactes (tableau 4a).

Cependant, dans l'ensemble, le taux de gorgement des vecteurs majeurs An.gambiae et An.funestus n'a pas été profondément modifié, que la moustiquaire ait été initialement trouée ou non.

Ceci s'explique aisément par le fait que les moustiquaires placées intactes sont rapidement trouées par les utilisateurs et que les anophèles profitent du moindre trou pour pénétrer dans les moustiquaires.

3.5 Influence des moustiquaires imprégnées sur le taux de mortalité des anophèles

Il n'y a pas de mortalité notable parmi les moustiques femelles récoltés dans les maisons témoins (1/653 pour An.gambiae, et 0/1998 pour An.funestus).

Ceci autorise à considérer sans correction les mortalités observées dans les maisons à moustiquaires traitées.

3.5.1. Mortalité générale

Cette mortalité générale a été comparable pour An.gambiae et pour An.funestus, respectivement 17,8 % et 16,4 %.

Pour chacune de ces deux espèces, le taux de mortalité générale ne varie pas, que les moustiquaires imprégnées soient intactes ou trouées :

Moustiquaires imprégnées		Nombre ♀ capturées	Nombre ♀ mortes	% mortalité
Intactes	<u>An.gambiae</u>	222	43	19,4 %
	<u>An.funestus</u>	616	99	16,1 %
Trouées	<u>An.gambiae</u>	183	29	15,8 %
	<u>An.funestus</u>	465	78	16,8 %

Par contre, le taux de mortalité générale montre quelques variations selon les modèles de moustiquaires placées dans les maisons :

	Moustiquaires imprégnées (intactes + trouées)					
	Individuelles			Collectives		
	Nombre ♀ capturées	Nombre ♀ mortes	Mortalité générale	Nombre ♀ capturées	Nombre ♀ mortes	Mortalité générale
<u>An.gambiae</u>	155	31	20 %	250	41	16,4 %
<u>An.funestus</u>	364	74	20,3 %	717	103	14,4 %
Total	519	105	20,2 %	967	144	14,9 %

La réduction significative ($X^2 = 6,90$ pour 1 ddl) de la mortalité enregistrée entre ces deux situations expérimentales pourrait être attribuée à la différence de quantité de perméthrine introduite dans la case. En effet, une case pourvue de deux moustiquaires individuelles intactes totalise 1,6 g de perméthrine alors qu'une case pourvue d'une seule moustiquaire collective en totalise 1,08 g.

Ainsi, un supplément de 0,52 g de perméthrine dans une maison pourrait accroître significativement la mortalité mais une expérimentation plus spécifiquement élaborée pour résoudre cet aspect du problème est nécessaire avant d'émettre des conclusions définitives.

On peut, d'ores et déjà, retenir qu'avec environ 1 g de perméthrine imprégnant une moustiquaire collective trouée, on constate une mortalité moyenne de 12 % des femelles d'An. gambiae et d'An. funestus capturées dans les maisons.

3.5.2 Mortalité immédiate et différée

La mortalité générale se répartit pour 1/3 en une mortalité immédiatement observée lors de chaque récolte à l'intérieur des maisons et pour 2/3 en une mortalité après 24 heures d'observations dans de bonnes conditions de survie. La mortalité immédiate et différée est différente selon les deux espèces, An. gambiae et An. funestus.

	Moustiquaires imprégnées		
	Nombre mortes	Mortalité immédiate	Mortalité différée
<u>An. gambiae</u>	72	31 (43,1 %)	41 (56,9 %)
<u>An. funestus</u>	177	49 (27,7 %)	128 (72,3 %)
Total	249	80 (32,1 %)	169 (67,9 %)

Cette information montre que dans les conditions d'expérimentation, la perméthrine n'a pas eu un effet "knock down" particulièrement important. Ceci pourrait expliquer le taux de gorgement relativement élevé des anophèles (78 % pour An. gambiae et 87,6 % An. funestus) trouvées le matin dans les cases où étaient placées les moustiquaires imprégnées d'insecticide. En effet, le moustique, seulement incommodé par l'effet irritant, dispose d'assez peu de temps pour se gorger avant de contracter ou non une dose létale.

On constate d'ailleurs que tous les moustiques trouvés morts le matin dans les cases expérimentales ont été prélevés sous les vérandas-pièges.

3.6 Tests de rémanence

Les résultats des tests de rémanence hebdomadairement effectués pendant 21 semaines consécutives sont indiqués dans le tableau 1.

Il apparaît qu'à la dose de 0,08 g/m² sur tulle et percale coton, la perméthrine en CE à 20 % fait preuve vis-à-vis d'Aedes aegypti (souche Kari) d'une excellente rémanence pour un contact forcé d'une heure.

En effet, quatre mois après la pose des moustiquaires, les tests montrent une mortalité de 90 % et plus. Elle est encore supérieure à 70 % sur percale, cinq mois après l'installation des moustiquaires. A cette époque, la mortalité sur le tulle moustiquaire est alors de l'ordre de 40 à 50 %.

L'emplacement des cônes sur le tulle moustiquaire et la percale était différent chaque semaine et les fluctuations du pourcentage de mortalité au cours des 21 semaines de l'expérimentation peuvent être attribuées à l'hétérogénéité inévitable de l'imprégnation insecticide.

L'examen de la mortalité relevée la 14ème semaine est intéressant avec 57,1 % sur tulle en case Bobo et 56,6 % en case Mossi.

Les cônes avaient été placés au bas de la moustiquaire, zone en fréquents contacts avec le sol et manipulée par les dormeurs lors de la rentrée ou de la sortie de la moustiquaire. Ceci révèle la perte d'insecticide engendrée par les manipulations de la moustiquaire.

La 15ème semaine, les cônes tests avaient été de nouveau placés au hasard sur la moustiquaire et sur les zones encore bien imprégnées de perméthrine, la mortalité était alors de nouveau supérieure à 80 %.

4. DISCUSSION ET CONCLUSION

A la station de Soumossou, Burkina Faso, la perméthrine en concentré émulsifiable à 20 % utilisée pour imprégner à la dose de 0,08 g/m² des moustiquaires coton individuelles et collectives, intactes ou trouées, installées dans les cases expérimentales, a diminué de 70 % l'entrée d'An. gambiae et d'An. funestus dans les maisons.

Cette réduction du taux d'entrée des femelles d'anophèles normalement agressives pour l'homme la nuit, prouve l'effet irritant de cet insecticide qui se manifeste même à l'extérieur de la case pourvue d'une moustiquaire imprégnée. Cet effet se fait clairement sentir à l'intérieur des maisons puisque l'exophilie des anophèles passe de 25 % dans les cases témoins à plus de 97 % dans les cases pourvues de moustiquaires imprégnées.

Enfin, l'imprégnation des moustiquaires réduit de 20 % pour An. gambiae et de 10 % pour An. funestus le taux de gorgement par rapport aux témoins.

Ces trois paramètres : réduction de l'entrée, augmentation de l'exophilie, réduction du taux de gorgement, sont à mettre au compte de la répulsivité et de l'irritabilité de la perméthrine.

Les anophèles vecteurs qui ont pénétré dans les cases pourvues de moustiquaires imprégnées présentent une mortalité générale de 17 % directement imputable à l'insecticide, et fonction de la quantité de perméthrine utilisée pour l'imprégnation. Elle se répartit pour 1/3 en mortalité immédiate et 2/3 en mortalité différée.

La rémanence, observée dans ces conditions, d'utilisation normale, est de l'ordre de cinq mois au moins.

L'utilisation de la perméthrine CE à 20 % pour l'imprégnation de moustiquaires n'isole pas parfaitement l'homme des anophèles vecteurs mais limite considérablement le contact homme-vecteur à un point tel que la moustiquaire, même en mauvais état, imprégnée d'insecticide, pourrait devenir une méthode efficace de protection contre le paludisme pour les populations normalement confrontées à cette endémie.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Choumara, R., Hamon, J., Bailly, H., Adams, J. P. & Ricosse, J. H (1959) Le paludisme dans la zone pilote antipaludique de Bobo-Dioulasso, Haute-Volta, Cah. ORSTOM (Paris), 1, 17-123
- Hervy, J. P. & Sales, S. (1980) Evaluation de la rémanence de deux pyréthrinoides de synthèse, OMS-1821 et OMS-1998, après imprégnation de différents tissus entrant dans la confection de moustiquaires, Doc. multigr. Centre Muraz, Bobo-Dioulasso, N° 7353/80/Doc.Tech.OCCGE. N° 4/ENT/80 du 8.2.1980
- Laveissière, C., Couret, D. & Kienon, J. P. (1980 a) Lutte contre les glossines riveraines à l'aide de pièges biconiques imprégnés d'insecticide, en zone de savane humide. I. Description du milieu, du matériel et de la méthode, Cah. ORSTOM, sér. Ent. méd. et Parasitol., XVIII, 3, 201-207
- Laveissière, C., Couret, D. & Kienon, J. P. (1980 b) Lutte contre les glossines riveraines à l'aide de pièges biconiques imprégnés d'insecticide, en zone de savane humide. II. Résultats quantitatifs obtenus lors des premiers essais, Cah. ORSTOM, sér. Ent. méd. et Parasitol., XVIII, 3, 209-221
- Laveissière, C., Couret, D. & Kienon, J. P. (1980 c) Lutte contre les glossines riveraines à l'aide de pièges biconiques imprégnés d'insecticide, en zone de savane humide. III. Résultats quantitatifs obtenus lors des premiers essais, Cah. ORSTOM, sér. Ent. méd. et Parasitol., XVIII, 3, 223-228
- Laveissière, C., Couret, D. & Kienon, J. P. (1981 a) Lutte contre les glossines riveraines à l'aide de pièges biconiques imprégnés d'insecticide, en zone de savane humide. IV. Expérimentation à grande échelle, Cah. ORSTOM, sér. Ent. méd. et Parasitol., XIX, 1, 41-48
- Laveissière, C., Couret, D. & Kienon, J. P. (1981 b) Lutte contre les glossines riveraines à l'aide de pièges biconiques imprégnés d'insecticide, en zone de savane humide. V. Notes de synthèse, Cah. ORSTOM, sér. Ent. méd. et Parasitol., XIX, 1, 49-54
- Laveissière, C. & Couret, D. (1981) Essai de lutte contre les glossines riveraines à l'aide d'écrans imprégnés d'insecticide, Cah. ORSTOM, sér. Ent. méd. et Parasitol., XIX, 4, 271-283
- Laveissière, C. & Couret, D. (1983) Dieldrine et écrans pour la lutte contre les glossines riveraines, Cah. ORSTOM, sér. Ent. méd. et Parasitol., XXI, 1, 57-62
- Port, G. R. & Boreham, P. L. F. (1982) The effect of bed-nets on feeding by Anopheles gambiae Giles (Diptera : Culicidae) Bull. Ent. Res., 72, 483-488
- Rupp, H. (1952) Contributions à la lutte contre les tsé-tsés, Acta Trop., IX, 289-303

RESUME

A Soumouso, un centre participant avec l'OMS à l'évaluation des nouveaux insecticides, une expérimentation a été conduite de juin à novembre 1983 pour étudier l'efficacité des moustiquaires imprégnées d'insecticide (perméthrine) dans la limitation du contact homme-anophèles. Trente-six moustiquaires ont été testées, dans des cases Bobo et Mossi. Deux modèles de moustiquaires (en coton) ont été fabriqués : individuelles et collectives (trois personnes). La moitié de ces moustiquaires ont été trouées pour représenter les conditions habituelles. L'imprégnation a été faite avec de la perméthrine (C.E. 20 %) à raison de 0,08 g/m².

Il s'est avéré que la présence de moustiquaires imprégnées dans les maisons :

- 1) réduit d'environ 70 % le "taux d'entrée" d'An. gambiae et d'An. funestus;
- 2) augmente le taux de sortie de ces espèces, leur exophilie passe de 25-30 % dans les cases "témoins" à 97 % dans les cases pourvues de moustiquaires imprégnées;
- 3) réduit d'environ 10 à 20 % le taux de gorgement de ces deux vecteurs;
- 4) entraîne une mortalité d'environ 20 % des anophèles qui sont entrés dans la maison, cette mortalité se fait sentir pour 1/3 de façon immédiate et pour 2/3 de façon retardée (<24 heures).

Ainsi, il a été démontré que la présence de moustiquaires (trouées ou non), imprégnées d'insecticide, a très fortement réduit le contact homme-anophèle vecteur et peut être envisagée comme moyen individuel de lutte contre les vecteurs au niveau des villages.

Calcul des doses pour l'imprégnation des moustiquaires avec la perméthrine (CE 20 %) :

1 ml de formulation : 0,2 g de matière active

Dose de traitement : 0,08 g de matière active/m²

I. Moustiquaire individuelle

Capacité d'absorption : 900 ml

Surface : 10 m²

Insecticide nécessaire : 0,80 g/moustiquaire, soit 4 ml de formulation dans 900 ml d'eau.

II. Moustiquaire collective

Capacité d'absorption : 1200 ml

Surface : 13,5 m²

Insecticide nécessaire : 1,08 g/moustiquaire, soit 5,4 ml de formulation dans 1200 ml d'eau

FIGURE

POURCENTAGES D'AN. GAMBIAE ET D'AN. FUNESTUS CAPTURES LE MATIN
DANS LES MAISONS ("CASES"), SOUS LES MOUSTIQUAIRES ET DANS LES VERANDAS-
PIEGES SELON QUE LES MOUSTIQUAIRES AIENT ETE IMPREGNEES D'INSECTICIDE (■))
OU NON IMPREGNEES (□))

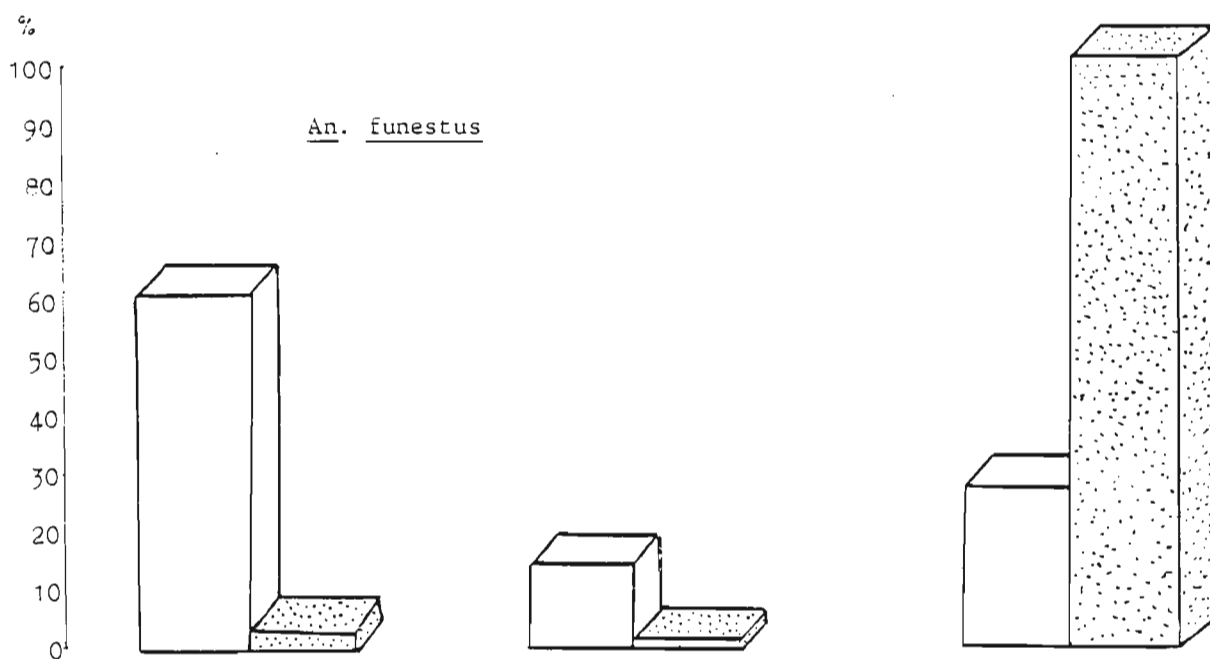
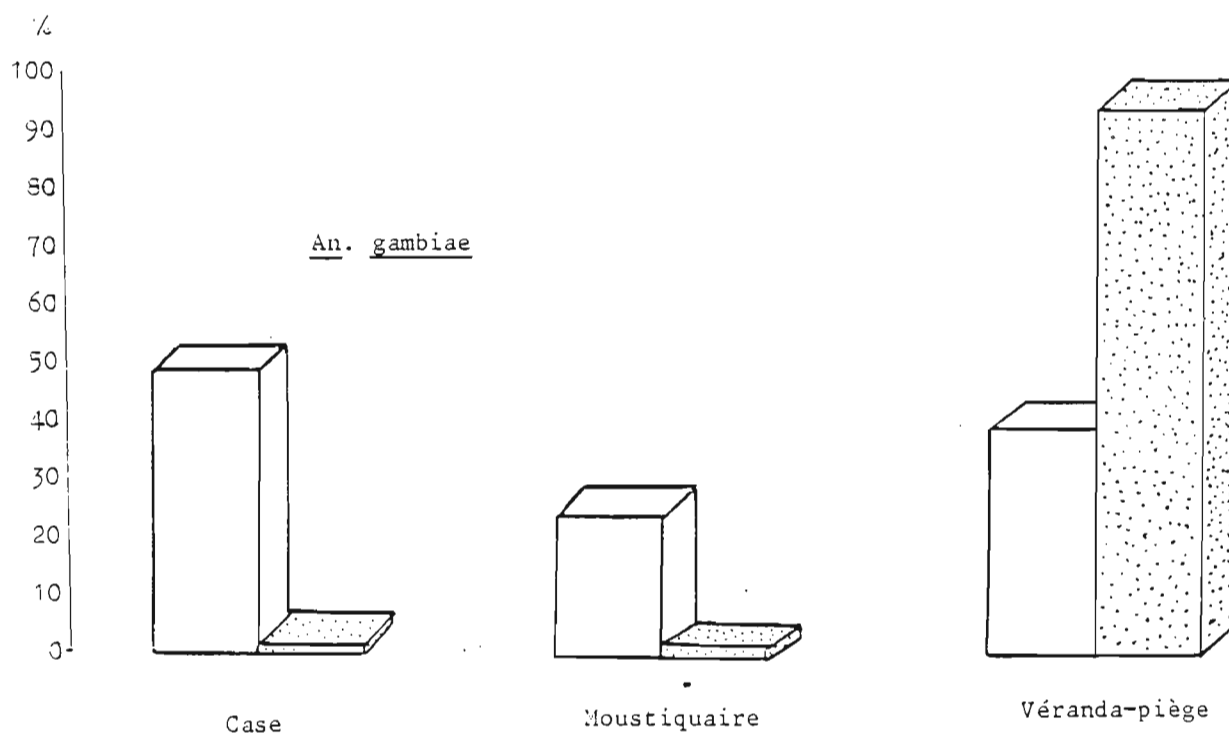


TABLEAU 1. EFFECTIFS DE MOUSTIQUES* CAPTURES DANS LES CASES PIEGES (TEMOINS + TRAITEES) du 5.07 au 26.11.1983

An. gambiae						An. funestus				An. nili				Ma. africana				Ma. uniformis			
Date	SAT	B	M	Total	%	B	M	Total	%	B	M	Total	%	B	M	Total	%	B	M	Total	%
5/07 16/07	1 2	28	32	60	1,4	1	4	5	0,1	0	1	1	0,02	1	1	2	0,6	0	0	0	0
18/07 30/07	3 4	52	98	150	3,4	7	10	17	0,4	1	1	2	0,04	2	5	7	2,3	6	2	8	2,6
1/08 13/08	5 6	32	85	117	2,7	10	35	45	1,0	7	8	15	0,3	10	7	17	5,5	9	5	14	4,6
15/08 27/08	7 8	86	102	188	4,3	72	67	139	3,2	8	7	15	0,3	5	4	9	2,9	10	5	15	4,9
29/08 10/09	9 10	62	95	157	3,6	166	193	359	8,2	29	20	49	1,1	8	7	15	4,9	15	8	23	7,5
12/09 24/09	11 12	98	113	211	4,8	393	314	707	16,2	39	32	71	1,6	10	12	22	7,2	10	7	17	5,5
26/09 8/10	13 14	62	77	139	3,2	488	580	1 068	24,5	28	43	71	1,6	15	16	31	10,1	20	8	28	9,1
10/10 22/10	15 16	9	17	26	0,6	152	262	414	9,5	3	1	4	0,09	14	9	23	7,5	8	4	12	3,9
24/10 5/11	17 18	3	4	7	0,2	143	131	274	6,3	0	0	0	0	9	13	22	7,2	3	8	11	3,6
7/11 19/11	19 20	3	0	3	0,07	21	21	48	1,0	0	0	0	0	10	10	20	6,5	4	1	5	1,6
21/11 26/11	21	0	0	0	0	6	3	9	0,2	0	0	0	0	4	2	6	2	0	0	0	0
Total		435	623	1 058	24,2	1 459	1 620	3 079	70,5	115	113	228	5,2	88	86	174	56,7	85	48	133	43,3

* 4 ♀ d'An. flavicosta et 6 ♀ d'An. rufipes ont également été prélevées et ne sont pas prises en considération dans ce tableau.

SAT. = Nombre de semaines après traitement.

B = Nombre de moustiques capturés en cases Bobo.

M = Nombre de moustiques capturés en cases Mossi.

Total= Total de moustiques.

% = Pourcentage par rapport au total dans chaque genre.

TABLEAU 2. EFFECTIFS D'AN. GAMBIAE ET AN. FUNESTUS RECOLTES DANS
LES CASES BOBO ET MOSSI POURVUES DE MOUSTIQUAIRES EXPERIMENTALES
"IMPREGNEES" (16 CASES) ET TEMOINS (8 CASES)

Modalités expérimentales		<u>An. gambiae</u>		<u>An. funestus</u>	
		Imprégnée	Témoin	Imprégnée	Témoin
M i.i.	Bobo	62	11	131	51
	Mossi	21	32	43	58
	Total	83	43	174	109
M i.t.	Bobo	54	26	127	230
	Mossi	18	15	63	90
	Total	72	41	190	320
M c.i.	Bobo	40	59	76	288
	Mossi	99	62	366	176
	Total	139	121	442	464
M c.t.	Bobo	47	136	135	421
	Mossi	64	312	140	684
	Total	111	448	275	1 105
TOTAL GENERAL		405	653	1 081	1 998
Moyenne		25,31♀/ case	81,63♀/ case	67,56♀/ case	249,7♀/ case
Moustiquaires imprégnées /moustiquaires témoins		$\Delta = - 69 \%$		$\Delta = - 73 \%$	

M i.i. = Moustiquaires individuelles intactes.

M i.t. = Moustiquaires individuelles trouées.

M c.i. = Moustiquaires collectives intactes.

M c.t. = Moustiquaires collectives trouées.

TABLEAU 3a. EFFECTIFS TOTAUX (ET POURCENTAGES) D'AN. GAMBIAE
PRELEVEES DANS CHAQUE SITUATION EXPERIMENTALE

Modèle moustiquaire	Modèle case	Dans case	Sous moustiquaire	Dans Véranda-piège	Total
M* i.i.	Mossi	0	0	21	21
	Bobo	0	0	62	62
M* i.t.	Mossi	0	0	18	18
	Bobo	0	0	54	54
M* c.i.	Mossi	3	3	93	99
	Bobo	2	0	38	40
M* c.t.	Mossi	3	1	60	64
	Bobo	1	1	45	47
Total et % M*	Mossi	6(2,97)	4(1,98)	192(95,01)	202
	Bobo	3(1,5)	1(0,5)	199(98,0)	203
Total général	Nombre	9	5	391	405
	%	2,22 %	1,23 %	96,5 %	
M i.i.	Mossi	17	10	5	32
	Bobo	4	2	5	11
M i.t.	Mossi	7	5	3	15
	Bobo	6	10	10	26
M c.i.	Mossi	36	9	17	62
	Bobo	18	2	39	59
M c.t.	Mossi	179	42	91	312
	Bobo	64	28	44	136
Total et % M	Mossi	239(56,8)	66(15,7)	116(27,6)	421
	Bobo	92(39,7)	42(18,1)	98(42,2)	232
Total général	Nombre	331	108	214	653
	%	50,7 %	16,5 %	32,8 %	

M* = Moustiquaires imprégnées.
M = Moustiquaires non imprégnées.
M* i.i. = Moustiquaires individuelles intactes.
M* i.t. = Moustiquaires individuelles trouées.
M* c.i. = Moustiquaires collectives intactes.
M* c.t. = Moustiquaires collectives trouées.

TABLEAU 3b. EFFECTIFS TOTAUX (ET POURCENTAGES) D'AN. FUNESTUS
PRESENTS DANS CHAQUE SITUATION EXPERIMENTALE

Modèle moustiquaire	Modèle case	Dans case	Sous moustiquaire	Dans véranda-piège	Total
M* i.i.	Mossi	1	0	42	43
	Bobo	2	0	129	131
M* i.t.	Mossi	3	0	60	63
	Bobo	3	0	124	127
M* c.i.	Mossi	9	1	356	366
	Bobo	4	0	72	76
M* c.t.	Mossi	1	0	139	140
	Bobo	4	0	131	135
Total et % M*	Mossi	14 (2,3)	1 (0,2)	597 (97,5)	612
	Bobo	13 (2,8)	0 (-)	456 (97,2)	469
Total général	Nombre	27	1	1 053	1 081
	%	2,5 %	0,09 %	97,4 %	
M i.i.	Mossi	43	2	13	58
	Bobo	31	3	17	51
M i.t.	Mossi	61	12	17	90
	Bobo	126	57	47	230
M c.i.	Mossi	138	8	30	176
	Bobo	193	5	90	288
M c.t.	Mossi	467	64	153	684
	Bobo	171	85	165	421
Total et % M	Mossi	709 (70,3)	86 (8,5)	231 (21,1)	1 008
	Bobo	521 (52,6)	150 (15,2)	319 (32,2)	990
Total général	Nombre	1 230	236	532	1 998
	%	61,6 %	11,8 %	26,6 %	

TABLEAU 4a. ETAT PHYSIOLOGIQUE DES FEMELLES D'AN. GAMBIAE CAPTUREES, A LA MAIN,
LE MATIN, DANS LES MAISONS POURVUES DE MOUSTIQUAIRES
IMPREGNEES D'INSECTICIDE (M*) OU NON IMPREGNEES (M)

Modèle moustiquaire	Modèle case	Nombre ♀ capturées	Nombre ♀ gorgées	% ♀ gorgées
M* i.i.	Mossi	21	17	80,9 %
	Bobo	62	47	75,8 %
M* i.t.	Mossi	18	11	61,1 %
	Bobo	54	41	75,9 %
M* c.i.	Mossi	99	80	80,8 %
	Bobo	40	23	57,5 %
M* c.t.	Mossi	64	51	79,7 %
	Bobo	47	45	95,7 %
Total M*	Mossi	202	159	78,7 %
	Bobo	203	156	76,8 %
Total général		405	315	77,8 %
M i.i.	Mossi	32	29	90,6 %
	Bobo	11	10	90,9 %
M i.t.	Mossi	15	15	100,0 %
	Bobo	26	26	100,0 %
M c.i.	Mossi	62	60	96,8 %
	Bobo	59	56	94,9 %
M c.t.	Mossi	312	309	99,0 %
	Bobo	136	134	98,5 %
Total M	Mossi	421	413	98,1 %
	Bobo	232	226	97,4 %
Total général		653	639	97,9 %

M i.i. = Moustiquaire individuelle intacte.
M i.t. = Moustiquaire individuelle trouée.
M c.i. = Moustiquaire collective intacte.
M c.t. = Moustiquaire collective trouée.

TABLEAU 4b. ETAT PHYSIOLOGIQUE DES FEMELLES D'AN. FUNESTUS
CAPTUREES, A LA MAIN, LE MATIN, DANS LES MAISONS
POURVUES DE MOUSTIQUAIRES IMPREGNEES D'INSECTICIDE
(M*) ET NON IMPREGNEES (M)

Modèle moustiquaire	Modèle case	Nombre ♀ capturées	Nombre ♀ gorgées	% ♀ gorgées
M* i.i.	Mossi	43	33	76,7
	Bobo	131	116	88,5
M* i.t.	Mossi	63	49	77,8
	Bobo	127	100	78,7
M* c.i.	Mossi	366	354	96,7
	Bobo	76	56	73,7
M* c.t.	Mossi	140	116	82,9
	Bobo	135	128	94,8
Total M*	Mossi	612	552	90,2 %
	Bobo	469	400	85,3 %
Total général		1 081	952	88,1 %
M i.i.	Mossi	58	54	93,1
	Bobo	51	48	94,1
M i.t.	Mossi	90	87	96,7
	Bobo	230	223	96,9
M c.i.	Mossi	176	171	97,2
	Bobo	288	274	95,1
M c.t.	Mossi	684	673	98,4
	Bobo	421	410	97,4
Total M	Mossi	1 008	985	97,7 %
	Bobo	990	955	96,5 %
Total général		1 998	1 940	97,1 %

= = =

LA LUTTE CONTRE LE PALUDISME PAR DES MOUSTIQUAIRES IMPREGNEES DE PYRETHRINOIDES AU BURKINA FASO (1)

P. Carnevale, V. Robert, C. Boudin, J.-M. Halna, L. Pazart,
P. Gazin, A. Richard & J. Mouchet (2)

- (1) Ces recherches ont bénéficié d'une aide financière du Programme spécial de recherche et de formation pour les maladies tropicales PNUD / Banque Mondiale / OMS et de la Commission des Communautés Européennes.
- (2) Travaux exécutés par les chercheurs de l'antenne ORSTOM du Centre Muraz, Organisation de Coordination et de Coopération pour la lutte contre les grandes endémies (O.C.C.G.E.), Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. Adresse où sont à demander les tirés-à-part: OCEAC, B.P. 288, Yaoundé, Cameroun.

Résumé

Un essai expérimental de lutte contre le paludisme basé sur l'utilisation, par la population, de moustiquaires imprégnées de deltaméthrine à 25 mg / m² a été exécuté dans le village de Karangasso au sud-ouest du Burkina Faso. Pendant un an on a recueilli dans l'ensemble du village les données relatives aux vecteurs, à la transmission, à la parasitologie et à l'incidence pathologique. Puis dans un des deux quartiers du village on a distribué des moustiquaires imprégnées aux 1200 habitants; l'autre quartier, de même taille de population et spatialement individualisé du précédent, a servi de témoin. On a évalué les effets de l'utilisation des moustiquaires à la fois par rapport à l'année précédente et par rapport au quartier témoin.

La transmission a été réduite de 82% suivant une diminution des populations de certain vecteur et surtout de leurs indices sporozoïtiques. Cette réduction a été calculé sur des sujets qui n'étaient pas sous moustiquaire et a donc été sous-estimée pour les habitants qui dormaient sous moustiquaires.

L'indice plasmodique est resté invariant mais la charge parasitaire moyenne a significativement diminué.

L'incidence pathologique, basée sur le nombre d'accès confirmés, a diminué de 59%.

Cet essai montre que l'utilisation collective de moustiquaires imprégnées de deltaméthrine peut être considéré comme un moyen de lutte efficace contre le paludisme en zone de forte endémicité; de plus l'imprégnation est bon-marché car la rémanence dure une année. L'acceptation des moustiquaires par la population a été bonne.

Mots-Clés: Lutte antipaludique, Moustiquaire imprégnée, Deltaméthrine, Anophèle, Burkina Faso.

Pyrethroid impregnated bed nets for malaria control in the Burkina Faso

Summary:

An experimental trial of malaria control was carried out in the village of Karangasso in the south-west Burkina Faso. It was based on the use by the whole population of deltamethrin impregnated bed nets at 25 mg / m². During the first year pretreatment data on entomology, parasitology and pathological incidence of malaria were collected in the whole village. During the second year a quarter of the village with a population of 1200 was chosen for the experiment and impregnated bed nets were given to everybody while the other quarter of the same population size was kept as a control area.

Malaria transmission was reduced by 82% due to the decrease of both *Anopheles funestus* population and sporozoitic indexes of all the vector species. It should be pointed out that this reduction in transmission was evaluated on non-protected catchers and consequently was underestimated for the villagers sleeping under nets.

Parasitic index remain about the same but the mean parasitic load decreased significantly.

Pathological incidence, based on the number of clinical malaria cases confirmed by blood examination, decreased by 59%.

This trial shows that mass use of deltamethrin impregnated bed nets should be considered as a valuable tool for malaria control. The purchase of bed net is expensive but could be reduced sharply. The cost of the impregnation is very low regarding the residual effect which remains one year. The acceptance by the population was good.

Key Words: Malaria control, Impregnated bed net, deltamethrin, Anopheline, Burkina Faso.

1. INTRODUCTION

De tous temps les gens ont cherché à se protéger contre les insectes nuisants soit en les éliminant soit en élevant une barrière physique ou chimique pour éviter le contact entre l'homme et l'insecte.

Les insecticides comme le pyrèthre sont connus depuis 2000 ans. Des produits réputés répulsifs sont connus dans toutes les communautés. L'éloignement des habitations des marais a été prôné par Hippocrate qui y voyait déjà une mesure de prévention des fièvres.

Divers systèmes d'isolement des dormeurs figurent sur des estampes datant de plusieurs siècles mais les moustiquaires de tulle sont plus récentes. Ross (7) en recommandait largement l'emploi pour la prévention du paludisme. En effet depuis que l'on avait découvert le rôle des moustiques dans la transmission du paludisme et des filarioses elles s'imposaient comme un outil majeur de prophylaxie.

L'isolement, théoriquement total, du dormeur est rarement réalisé par les moustiquaires. Le tulle, fragile, est rapidement percé et les moustiques arrivent à trouver une porte d'entrée. De plus la moustiquaire peut être mal posée ou mal fermée. Les entomologistes savent bien d'ailleurs qu'elles constituent un piège où l'on retrouve un échantillon gorgé des espèces anthropophiles. Enfin, en climat tropical où l'on passe la nuit "en petite tenue" les dormeurs sont fréquemment piqués à travers le tulle.

Pour améliorer les performances des moustiquaires on a essayé depuis plus de 15 ans de les imprégner d'insecticides; après diverses expérimentations il s'est avéré que les pyrèthrinoïdes constituaient la classe d'insecticide qui répondait le mieux à cet objectif. Au cours de ces travaux il est apparu non seulement que les moustiquaires imprégnées protégeaient les sujets qui les utilisaient mais qu'elles constituaient un piège souvent mortel pour les moustiques en quête d'un repas de sang (8). Elles pouvaient donc devenir un moyen de lutte de masse contre le paludisme en réduisant sa transmission (5).

Les travaux menés dans la région de Bobo-Dioulasso s'insèrent dans un courant de recherches pour la promotion de moyens efficaces, simples et peu onéreux pour le développement de la lutte antipaludique dans des pays aux moyens budgétaires étiés, à travers le système des soins de santé primaire et la participation des communautés concernées.

Cet apport de nouvelles techniques est d'autant plus nécessaire en Afrique que l'accroissement et la multiplication des zones de résistance de *Plasmodium falciparum* à la chloroquine exige le développement de la lutte antivectorielle. Or, compte tenu de la résistance très largement répandue d'*Anopheles gambiae* au DDT et du coût des traitements intradomiciliaires avec des organophosphorés ou des carbamates, les moustiquaires imprégnées pourraient constituer une alternative aux traitements classiques.

2. LES EXPERIMENTATIONS PRELIMINAIRES

2.1. EFFICACITE DE PYRETHRYNOIDES EN IMPREGNATION DE TISSUS

Hervy et Sales (4) ont comparé l'efficacité et la rémanence de la perméthrine et de la deltaméthrine en imprégnation de trois types de tissus habituellement utilisés dans la confection de moustiquaires: percale, tulle coton, tulle synthétique.

La perméthrine en concentré émulsifiable (C.E.) à 20% (Welcome Research Lab.) et la deltaméthrine en C.E. à 2,5% (Roussel-Uclaf) ont été utilisées pour imprégner des carrés de tissu de 50cm de côté avec différentes concentrations. Une fois imprégnés, ces tissus ont été installés dans des maisons de villageois. L'efficacité et la rémanence des deux insecticides ont été évalués par des bioessais hebdomadaires avec des *Aedes aegypti* d'élevage mis en contact forcé pendant une heure avec le tissu.

Les résultats portent sur une concentration moyenne (CM) où une mortalité de 50% a été observée et une concentration optimale (CO), "la plus faible possible pour obtenir 90-100% d'efficacité pendant l'expérimentation" qui a duré 6 mois (tabl.I). La concentration efficace varie selon l'insecticide et selon le tissu; elle est de 20 à 40 fois plus élevée pour la perméthrine que pour la deltaméthrine.

Comme ces résultats obtenus par des bioessais ne font pas intervenir l'irritabilité relative de chacun de ces pyréthrinoides, les auteurs de ce travail ont recommandé une évaluation en conditions naturelles qui a été réalisée avec des moustiquaires imprégnées.

2.2. EVALUATION DE MOUSTIQUAIRES IMPREGNEES DE PERMETHRINE

A la demande de l'Organisation Mondiale de la Santé une expérimentation a eu lieu dans son Centre Collaborateur (Station expérimentale de Soumouso, WHO PES 2) et a porté sur des moustiquaires imprégnées de perméthrine en C.E. à 20% à la dose de 0,08g/m² (2). 36 moustiquaires ont été confectionnées en percale et tulle coton; 24 ont été imprégnées et 12 ont servi de témoin. La moitié des moustiquaires a été trouée, l'autre est restée intacte. Ces moustiquaires ont été réparties dans 24 maisons expérimentales construites pour que les moustiques puissent y entrer mais ne puissent en sortir hormis dans une véranda-piège. Du personnel du village recruté par la station a dormi sur des nattes et sous les moustiquaires, pendant les 5 mois qu'a duré l'expérimentation.

L'étude a porté sur 4682 moustiques femelles capturés vivants à l'aspirateur à bouche ou ramassés morts à l'intérieur des maisons expérimentales. La plus grande partie de ces moustiques (9/10 ième) appartenait à *Anopheles funestus* et à *A. gambiae* s.l.. Les principaux résultats portant sur ces espèces ont été les suivants:

- Le taux d'entrée dans les maisons a été réduit d'environ 70% dans les maisons avec moustiquaires imprégnées.

- Le taux de gorgement dans les maisons avec moustiquaires témoin intact a été 0,95, confirmant le peu d'intérêt des moustiquaires non imprégnées (10). Il a réduit de 20% dans les maisons à moustiquaires imprégnées, qu'elles soient intactes ou trouées.
- Le taux de mortalité par rapport aux témoins a augmenté de 20% dans les maisons à moustiquaires imprégnées, que les moustiquaires soient intactes ou trouées. Ce taux a été réparti pour 1/3 à la fin de la nuit et pour 2/3 dans les 24 heures suivantes.
- Le taux de sortie des maisons est passé de 25-30% chez les témoins à 97% avec moustiquaires imprégnées.
- La réalisation de bioessais avec des *Aedes aegypti* d'élevage maintenus une heure en contact forcé avec les moustiquaires imprégnées révèle une mortalité supérieure à 90% quatre mois après l'imprégnation. Au cinquième mois la mortalité est 70% sur percale et 50% sur tulle.

Ces résultats concernant une approche de la lutte antivectorielle encouragèrent sa poursuite et son application à la lutte contre le paludisme.

3. L'EXPERIENCE DES MOUSTIQUAIRES IMPREGNEES DE DELTAMETHRINE A KARANGASSO

3.1. PROTOCOLE ET DESCRIPTION DU VILLAGE ETUDIE

Notre étude s'est déroulée dans le village de Karangasso qui comprend deux quartiers, Koko et Massasso, géographiquement distincts et séparés par 800m d'un espace sans habitation. La première année a été consacrée au recueil des données de prétraitement dans les quartiers Koko et Massasso. La deuxième année a concerné l'expérimentation, elle-même menée dans le quartier Massasso où tous les habitants ont reçu des moustiquaires imprégnées de deltaméthrine; le quartier Koko a continué à servir de témoin.

Schéma du protocole:

DEUX QUARTIERS	DEUX ANNEES	
	1985-86	1986-87
KOKO	témoin	témoin
MASSASSO	témoin	moustiquaire imprégnée

La région de l'étude est située sur la marge méridionale d'une savane soudanienne arborée. Il y existe deux saisons très contrastées: une saison sèche de novembre à avril et une saison pluvieuse de mai à octobre avec en moyenne 1100 mm de pluie par an. Les températures moyennes varient entre 24° et 31° avec deux maxima en avril et novembre.

Le village de Karangasso, parfois dénommé Karangasso Sambla, est situé à 45 km à l'ouest de Bobo-Dioulasso, dans le sud-ouest du Burkina Faso. Ses deux quartiers principaux, Koko et Massasso, regroupent chacun 1200 personnes appartenant à l'ethnie Sambla dont la principale activité est l'agriculture.

3.2. MATERIEL, METHODE ET DEROULEMENT DES OPERATIONS

3.2.1. Traitement

Après enquête sur la répartition nocturne des personnes dans les maisons (la mère dormant souvent avec ses enfants) plus de 700 moustiquaires imprégnées ont été distribuées aux 1000 résidants habituels du quartier Massasso. Les moustiquaires individuelles (pour une personne) faisaient 14 m² et les collectives (pour deux ou trois personnes) 20 m². Le toit des moustiquaires et le bord inférieur des pans verticaux étaient en coton et le reste des pans verticaux en tulle synthétique. L'imprégnation d'insecticide a été faite par nos soins dans des bassines pour avoir 25 mg de deltaméthrine (K-Othrine® en C.E. à 2,5% commercialisée par Roussel Uclaf) par m² de tissu; on a procédé en ajoutant successivement dans la baignoire: la dose d'insecticide, le volume d'eau, la moustiquaire. Le séchage a eu lieu à plat sur le sol. L'imprégnation, la distribution et la pose des moustiquaires imprégnées ont eu lieu les premiers jours de mai 1986, avant la reprise de la transmission du paludisme dans ce village.

3.2.2. Méthodologie de l'évaluation entomologique

Pour le recueil des données de prétraitement comme pour l'évaluation de l'expérience les moustiques ont été récoltés au cours de captures nocturnes sur sujets humains à l'intérieur des maisons. Les pièces dans lesquelles ont été effectuées ces captures ont été choisies pour leur représentativité parmi les chambres à coucher utilisées par les habitants et pour leur répartition dans l'ensemble du village: quatre dans le quartier Koko et quatre dans le quartier Massasso. Une équipe de quatre captureurs travaillait de 20h à 01h puis une autre équipe de 01h à 06h dans les quatre pièces de capture d'un même quartier. La nuit suivante, la même enquête était répétée dans l'autre quartier. Ces deux nuits consécutives de capture ont été effectuées régulièrement tous les 14 jours, sans aucune interruption pendant deux ans. Les captureurs ont changé d'équipe, de quartier et de pièce chaque nuit de capture selon un programme préétabli dans le but de diminuer le biais dû au facteur "captureur" dans les résultats. Les captureurs étaient protégés par une chimioprophylaxie.

La détermination spécifique des moustiques et la dissection des vecteurs potentiels de paludisme étaient faites juste après la capture, au laboratoire du Centre Muraz, à Bobo-Dioulasso. L'âge physiologique a été précisé sur l'aspect des trachéoles ovariennes selon la technique de Detinova. Le taux de parturité a été calculé par le rapport du nombre de

femelles pares sur l'ensemble des femelles pares et nullipares. La présence de sporozoïtes dans les glandes salivaires a été recherchée à frais, sans coloration ni écrasement.

Des captures de la faune résiduelle intra-domiciliaire diurne ont été effectuées en Octobre et Novembre 1986 par des pulvérisations au pyréthre.

La première année des résultats exposés ci-après concerne la période du 17 Mai 1985 au 29 Avril 1986; la seconde année concerne celle du 13 Mai 1986 au 15 Avril 1987.

L'évaluation de l'efficacité des moustiquaires imprégnées, pour les captures intérieures, est faite pour chaque paramètre de la façon suivante: on compare les deux années dans le quartier Koko (témoin) pour obtenir un facteur correctif; ce facteur est appliqué à la valeur obtenue la première année à Massasso, cette valeur corrigée (ou attendue) est alors comparée à la valeur réelle observée la seconde année à Massasso en présence du traitement.

3.2.3. Méthodologie de l'évaluation parasitologique et clinique

Des consultations ont été régulièrement effectuées au village tous les cinq jours. Le recrutement a concerné tous les sujets se présentant à la consultation quels que soient le motif et l'âge. Les personnes originaires d'autres villages ont été normalement examinées mais ont été exclues des résultats.

Les consultants ont été interrogés dans leur langue sur le motif de consultation, les symptômes ressentis, l'existence de fièvre et son rythme dans les jours précédents, les traitements utilisés et en particulier les traitements antipalustres. Un examen clinique a été pratiqué par un médecin avec prise de température rectale et prélèvement sanguin au bout du doigt pour réalisation d'un frottis mince. Un diagnostic clinique provisoire a été porté à la fin de la consultation et un traitement a été prescrit; le plus souvent ce traitement a été instauré immédiatement avec les médicaments essentiels dont disposait le médecin. Les données de l'examen et de l'interrogatoire ont été notées sur des fiches standardisées en vue de l'analyse informatique ultérieure.

La densité parasitaire a été établie sur les frottis minces par l'observation de 100 champs à l'objectif 100x sur la base de 200 hématies par champs et de 4 millions d'hématies par microlitre.

Le diagnostic de certitude de l'accès palustre en zone d'endémie est sujet à discussion du fait de l'absence de signe pathognomonique; quoi qu'il en soit l'association des critères suivants a été retenue pour imputer à un état morbide une origine palustre vraisemblable:

- température rectale $\geq 38^{\circ}\text{C}$
- parasitémie ≥ 10000 parasites par microlitre pour *P. falciparum* ou ≥ 1000 pour *P. malariae* ou *P. ovale*

- absence de toute autre pathologie fébrile évidente (foyer pulmonaire, abcès, etc...).

Il est clair que cette définition est restrictive mais elle présente les garanties d'objectivité et de reproductibilité nécessaires dans ce type d'étude comparative. La notion rapportée de fièvre récente (dans 79% des consultations d'enfants!) n'a pu être retenue car ne présentant pas ces garanties.

3.3. EVALUATION ENTOMOLOGIQUE

3.3.1. Résultats

Sur le plan climatologique, les années 1985 et 1986 ont été comparables pour les températures mais en 1986 la période pluvieuse a été plus longue de deux mois bien que la pluviométrie totale ait été inférieure de 34% par rapport à 1985.

Des échantillons du complexe *A. gambiae* prélevés antérieurement, au milieu de la saison pluvieuse 1984, ont montré que tous les individus du complexe appartenaient à l'espèce *A. gambiae* s.s. et que les deux formes chromosomiques Savane et Mopti étaient représentées à Karangasso (V.Petrarca & M.Coluzzi, com.pers.).

Cent séances de capture ont été effectuées, totalisant 400 hommes-nuits. Un total de 7253 moustiques dont 5700 anophèles vecteurs potentiels de paludisme ont été capturés (tabl.II).

Les densités agressives pour l'homme (ma)

Dans les deux quartiers la réduction de la densité d'*A. gambiae* a été de 35% la seconde année par rapport à la première (année de prétraitement)(tabl.III). Par contre la densité d'*A. funestus* dans le quartier Koko (témoin) a augmenté de 60% la seconde année alors qu'à Massasso (avec moustiquaires imprégnées la seconde année) elle a diminué de 48%.

La densité aggressive des trois vecteurs *A. gambiae*, *A. funestus* et *A. nili*, a augmenté de 8% à Koko la seconde année alors qu'à Massasso elle a diminué de 38%. Ainsi, à Massasso la seconde année, en présence de moustiquaires imprégnées, la densité totale des vecteurs a diminué de 43% par rapport à sa valeur attendue.

Les taux de parturité (TP)

Le TP d'*A. gambiae* à Koko a diminué de 11% la seconde année par rapport à la première (tabl.III); à Massasso il a diminué de 48%.

Le TP d'*A. funestus* a diminué de 9% à Koko; à Massasso il a diminué de 34%.

Les indices sporozoïtiques (IS)

L'IS d'*A. gambiae* à Koko a augmenté de 140% la seconde année par rapport à la première (tabl.III); à Massasso il a diminué de 73%. L'IS d'*A. funestus* a augmenté de 45% à Koko la seconde année; à Massasso il a diminué de 63%.

Les taux d'inoculation (h)

Avec les valeurs des *ma* et des IS il est possible de calculer un *h* ($h = ma \times IS$) valable pour une personne adulte qui ne prendrait pas de précaution contre les moustiques.

A Koko le taux quotidien d'inoculation total dû aux trois vecteurs *A. gambiae*, *A. funestus* et *A. nili* est passé de 0,318 (116 piqûres infectées par homme par an) la première année à 0,613 (h annuel=224) la seconde, soit une augmentation de 92%; à Massasso il est passé de 1,105 (403 piqûres infectées par homme par an) la première année à 0,199 (h annuel=73) la seconde, soit une réduction de 82%. Ainsi à Massasso la seconde année, en présence de moustiquaires imprégnées, le taux d'inoculation dû à l'ensemble des vecteurs a diminué de 91% par rapport à sa valeur attendue (tabl.III). Le pourcentage de réduction de la transmission est resté du même ordre tout au long de la saison de transmission (fig.1).

Les captures au pyrhètre

A Massasso, en septembre et octobre 1986, la faune résiduelle vectrice et endophile a diminué de 98% par rapport à Koko. Cette réduction est plus importante pour *A. funestus* (98%) que pour *A. gambiae* (88%); la différence est significative ($X^2 = 23,8$; $p < 0,0001$).

3.3.2. Discussion

Les moustiquaires imprégnées de deltaméthrine suppriment la faune résiduelle endophile sans modifier le comportement endophage des vecteurs. Ces deux observations ne sont en rien contradictoires: dans un premier temps les moustiques entrent dans les maisons pour piquer, dans un deuxième temps soit ils meurent sous l'effet insecticide de la deltaméthrine, soit ils fuient à cause de son effet répulsif; la plus grande partie semble mourir (6).

La densité agressive et le taux d'inoculation observé sur les captureurs sont extrapolables à l'ensemble de la population adulte de Koko les deux années et de celle de Massasso la première année. Ceci ne s'applique manifestement pas à la population de Massasso la seconde année, puisqu'elle a dormi sous moustiquaires imprégnées et a donc été protégée; de plus les captureurs qui constituaient les seuls hôtes humains directement accessibles aux anophèles ont été surexposés. Donc la densité de piqûres par homme à

Massasso la seconde année a été surestimée et l'écart entre quartier témoin et traité est supérieur aux valeurs enregistrées.

L'augmentation de la densité agressive d'*A. funestus* et la réduction de celle d'*A. gambiae* observées à Koko comme dans toute la région de Bobo-Dioulasso la seconde année est probablement due à un allongement de la saison des pluies.

Les échanges possibles de moustiques entre les deux quartiers du village ont contrarié l'évaluation du traitement sur les populations anophéliennes. Cette question ne pourra être résolue que sur une superficie beaucoup plus grande où tous les habitants utiliseront des moustiquaires imprégnées et où les apports extérieurs d'anophèles dans la zone traitée deviendront négligeables.

3.4. L'EVALUATION PARASITOLOGIQUE ET CLINIQUE

Les sujets ont été regroupés en quatre groupes en fonction des deux années et des deux quartiers (c.f. 3.1.). Au total entre Avril 1985 et Mars 1987, 2533 consultations ont été effectuées. La répartition de ces consultations n'a pas été identique dans les quatre groupes, pas plus que la fréquence des prélèvements effectués en saison de forte transmission (de Juillet à Décembre), ni l'âge moyen des sujets examinés (tabl.IV). Ces deux dernières variables étant a priori très liées aux manifestations parasitologiques et cliniques du paludisme il est nécessaire d'en tenir compte dans l'analyse des résultats.

3.4.1. La densité parasitaire à *P. falciparum*

Afin de comparer la densité parasitaire des différents groupes de sujets, quatre analyses de variance/covariance ont été nécessaires pour tenir compte des facteurs de confusion que sont l'âge et la saison de transmission et pour isoler comme effet principal le facteur "moustiquaires imprégnées". Pour assurer l'égalité des variances dans les différents sous-groupes, les calculs ont été effectués après transformation logarithmique de la densité parasitaire observée (les sujets négatifs étant cotés 1 avant transformation).

L'analyse faite sur l'ensemble des sujets montre qu'il n'existe pas de différence significative pendant la première année d'étude entre les deux quartiers ($F=0,08$ DDL=1/953 $p=0,78$). Il existe par contre une différence significative entre les deux années aussi bien à Koko ($F=5,93$ DDL=1/933 $p=0,015$) qu'à Massasso ($F=31$ DDL=1/1592 $p<0,0001$), la densité parasitaire étant plus faible la seconde année. Enfin pendant la seconde année il existe une différence significative par quartiers ($F=10,3$ DDL=1/1572 $p<0,0001$), la densité parasitaire étant plus faible à Massasso (quartier avec moustiquaires imprégnées) qu'à Koko (quartier témoin).

La même analyse faite uniquement sur les sujets porteurs de *P. falciparum* dans le sang périphérique pendant la première année d'étude ne met pas en évidence de différence significative entre les quartiers ($F=0,26$ DDL=1/371 $p=0,61$). A Koko il n'y a

pas non plus de différence d'une année à l'autre ($F=2,49$ DDL=1/330 $p=0,12$). Mais dans le quartier Massasso la différence d'une année à l'autre est significative ($F=6,76$ DDL=1/476 $p<0,01$), la densité parasitaire étant plus faible la seconde année. Au cours de cette seconde année la différence par quartiers devient significative ($F=18,23$ DDL=1/435 $p<0,0001$), la densité parasitaire étant plus faible à Massasso, comme attendu.

3.4.2. La fréquence des accès palustre

Les accès à *P. falciparum* avec les critères définis ci-dessus motivent pendant la première année 8,6% du total des consultations et 14,9% des consultations des moins de 14 ans (tabl.V); pendant la seconde année ce diagnostic ne représente plus que 5,8% du total des consultations des sujets habitant Koko et 2,9% du total des consultations des sujets de Massasso et respectivement chez les moins de 14 ans 10,1% et 5,2% (tabl.VI). Comme précédemment, du fait de l'absence de stratification sur les covariables étroitement liées aux manifestations du paludisme, ces pourcentage ne peuvent être directement comparés. L'analyse de l'ensemble des résultats obtenus la seconde année selon un modèle de régression logistique pas à pas (BMDP LR) prenant en compte les facteurs de confusion que sont l'âge et la période de transmission, permet de mettre en évidence une fréquence significativement plus basse ($p<0,01$) des accès palustres dans le quartier Massasso. L'équation de la régression logistique obtenue est:

$$\text{Logit } P = -1,94 - 0,111 x - 0,441 y$$

où x est l'âge en années et où y prend la valeur 1 en présence de moustiquaire imprégnée et -1 en son absence. La variable "saison de transmission" ne joue pas de rôle significatif dans ce modèle. Le risque relatif approché lié à l'utilisation de moustiquaires imprégnées est 2,42 et son intervalle de confiance à 95% est compris entre 1,82 et 3,21. Ceci revient à dire que la morbidité palustre est diminuée de 59% avec utilisation de moustiquaires imprégnées.

Deux accès à *P. malariae* ont été observés pendant la première année (sur 957 consultations). Pendant la deuxième année à Koko 2 accès à *P. malariae* (sur 535 consultations) ont été observés et à Massasso aucun (sur 1041 consultations). Aucun accès à *P. ovale* n'a été observé.

3.4.3. Discussion

Si la moustiquaire imprégnée protège en principe totalement, trois facteurs défavorables expliquent le maintien d'une certaine transmission:

- dans les conditions d'une expérience non coercitive certaines personnes ont négligé de dormir sous leurs moustiquaires pendant des périodes plus ou moins longues,
- certains habitants ont dormi hors du village et n'ont donc plus été protégés,

- la transmission crépusculaire avant que les habitants ne pénètrent sous leur moustiquaire ne peut être exclue.

Dans le quartier témoin la baisse de la prévalence parasitaire et de l'incidence des accès palustres est due à la distribution de doses suppressives d'antimalarique liée à l'"effet médecin".

En zone de haute endémicité la prévalence ne constitue pas un indicateur sensible pour apprécier une baisse de la morbidité palustre.

Les critères diagnostiques de l'accès palustre retenus dans cette étude sont restrictifs. Cependant si au lieu du seuil de 10000 parasites par microlitre de sang périphérique on choisit un seuil de 5000 ou de 15000 les résultats ne sont pas significativement différents.

4. CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

L'expérience de Karangasso montre que l'utilisation des moustiquaires imprégnées de deltaméthrine affecte la quantité de transmission du paludisme (réduction supérieure à 82%) par la réduction de la densité (-43%) et de la longévité des vecteurs. Cet abaissement de la transmission n'a pas de conséquence évidente sur la prévalence parasitaire mais entraîne une diminution de la quantité de parasite en relation directe avec la morbidité, elle-même réduite de 59%. Les résultats entomologiques, parasitologiques et cliniques sont parfaitement cohérents. Ils corroborent d'autres observations (3,9).

La moustiquaire imprégnée d'insecticide à effet rapide constitue un piège à appât humain qui est actuellement le meilleur moyen de protection individuelle du dormeur. Lorsque les moustiquaires imprégnées sont utilisées par l'ensemble d'une communauté, elles deviennent un authentique moyen de lutte antivectorielle.

Un tel traitement est hautement sélectif puisqu'appliqué sur une surface très réduite. Bien que la quantité utilisée d'insecticide soit faible elle présente une grande efficacité car appliquée sur une surface attractive pour les moustiques. Ce point de vue est novateur par rapport au traitement sélectif intra-domiciliaire effectué sur des supports variés non attractifs (1).

Les facteurs limitants sont essentiellement liés au comportement humain: acceptabilité des moustiquaires, déplacement des habitants, habitudes culturelles, etc...

La taille limitée de l'aire d'une expérimentation la rend particulièrement vulnérable. Il est incontestable que son extension la plus large possible améliorerait les résultats dans deux domaines:

-l'effet sur les populations de moustiques serait beaucoup plus marqué puisque l'immigration des anophèles serait limitée à la périphérie de l'aire traitée; les possibilités de transmission se trouveraient donc encore diminuées,

-les mouvements de populations se dérouleraient pour une grande part dans la zone traitée et l'introduction de parasite se trouverait diminuée d'autant.

Un point important et particulièrement difficile à résoudre concerne la généralisation de l'usage des moustiquaires y compris lors des déplacements dans les hameaux de culture et hors de la zone traitée.

Le coût de l'imprégnation est modique (20 à 30 cts américains) mais le prix d'achat de la moustiquaire est élevé (5000 CFA = 15 US dollars).

Le besoin de moustiquaire découle de la nuisance culicidienne mais habituellement pas de la crainte du paludisme. C'est le même critère qui décide de la satisfaction et justifie la poursuite de l'usage d'une telle protection individuelle.

Seule une action d'éducation sanitaire spécifique et de longue haleine peut lever la plupart de ces obstacles.

BIBLIOGRAPHIE

1. COZ (J.), VENARD (P.) & EYRAUD (M.).- Expérimentation en Haute-Volta d'un tissu imprégné de Baygon OMS 33.
Cah. ORSTOM Sér. Ent. méd. Parasitol., 1967, 5, 4: 217-221.
2. DARRIET (F.), ROBERT (V.), THO VIEN (N.) & CARNEVALE (P.).- Evaluation of the efficacy of permethrin impregnated intact and perforated mosquito nets against vectors of malaria. 1984.
WHO/ VBC/ 84.899 or *WHO / MAL / 84.1008*.
3. GRAVES (P.), BRABIN (B.), CHARLWOOD (J.), BURKOT (T.), CATTANI (J.), GINNY (M.), PAINO (J.), GIBSON (F.) & ALPERS (M.).- Reduction in incidence and prevalence of *Plasmodium falciparum* in under-5-year-old children by permethrin impregnation of mosquito nets.
Bull. Wor. Heal. Org., 1987, 65, 6: 869-877.
4. HERVY (J.-P.) & SALES (S.).- Evaluation de la rémanence de deux pyréthrinoides de synthèse, OMS 1821 et OMS 1998, après imprégnation de différents tissus entrant dans la confection de moustiquaires.
Rapport Ronéo. n° 7353 / 80 *Doc. Tech. OCCGE*, 1980, 16pp.
5. LI ZUZI, ZHANG, MANCHENG & LI GUANGXU.- The study of the control *Anopheles sinensis*, *A. dirus* and malaria prevalence with deltamethrin; field trial of controlling *A. sinensis* group and malaria prevalence by bed nets impregnated with deltamethrin.
Abstract, 4^{ème} congrès sur la protection de la santé humaine et des cultures en milieu tropical, Marseille, 2-4 juillet 1986: 143-148.
6. LI ZUZI, XU JINJIANG, LI BANGQAN, ZHU TAIHUA & LI MINGXIN.- Mosquito nets impregnated with deltamethrin against malaria vectors in China. 1987.
WHO/ VBC/ 87.939.
7. ROSS (R.).- *The prevention of malaria* London, John Murray, 1910, 669 pp.
8. SNOW (R.), JAWARA (M.) & CURTIS (C.).- Observations on *Anopheles gambiae* s.l. during a trial of permethrin-treated bed nets in the Gambia.
Bull. Ent. Res., 1987, 77: 279-286.
9. SNOW (R.), ROWAN (K.) & GREENWOOD (B.).- A trial of permethrin bed nets in the prevention of malaria in Gambian children.
Trans. R. Soc. trop. Med. Hyg., 1987, 81: 563-567.
10. SNOW (R.), ROWAN (K.), LINDSAY (S.) & GREENWOOD (B.).- A trial of bed nets (mosquito nets) as a malaria control strategy in rural area of The Gambia, West Africa.
Trans. R. Soc. trop. Med. Hyg., 1988, 82: 212-215.

Tableau I: Concentration moyenne (CM) et optimale (CO) en mg d'insecticide par m² de différents tissus de moustiquaire. Valeurs des concentrations d'imprégnation pour une efficacité de 50% (CM) et de 90-100% (CO) pendant 6 mois (d'après Hervy et Sales, 1980).

	Permethrine		Deltaméthrine	
	CM	CO	CM	CO
Percule	80	160	2	8
Tulle coton	20	80	0,5	2
Tulle synthétique	20	80	4	8

Tableau II: Nombres de moustiques capturés sur sujets humains, d'anophèles disséqués et d'anophèles porteurs de sporozoïtes, dans les deux quartiers du village de Karangasso.

	KOKO		MASSASSO		Total
	1 ^{ère} année	2 ^{ème} année	1 ^{ère} année	2 ^{ème} année	
moustique capturés	1816	1692	2318	1427	7253
anophèles disséqués	745	966	1043	835	3589
glandes salivaires +	19	44	60	14	137

Tableau III: Densités agressives pour l'homme (ma), taux de parturité (TP), indices sporozoïtiques (IS) des principaux vecteurs de paludisme et taux quotidiens d'inoculation (h) dans les deux quartiers du village de Karangasso. Des moustiquaires imprégnées ont été utilisées à Massasso la seconde année.

		K O K O			M A S S A S S O				
		valeurs observées			valeurs observées			valeurs attendues la 2 ^{ème} année	comparaison valeurs observées la 1 ^{ère} année et attendues la 2 ^{ème} année
		1 ^{ère} année	2 ^{ème} année	comparaison 2 ^{ème} / 1 ^{ère}	1 ^{ère} année	2 ^{ème} année	comparaison 2 ^{ème} / 1 ^{ère}		
ma	<i>A. gambiae</i>	6,05	3,84	-36%	9,03	5,84	-35%	5,78	+1%
	<i>A. funestus</i>	5,39	8,60	+60%	8,25	4,32	-48%	13,16	-67%
	<i>A. n. li</i>	1,02	1,02	0%	1,93	1,71	-11%	1,93	-11%
	anophiles vecteurs	12,46	13,46	+8%	19,21	11,87	-38%	20,75	-43%
	total moustiquaires	18,16	16,92	-7%	23,18	14,27	-38%	13,30	-34%
TP %	<i>A. gambiae</i>	68,2	60,9	-11%	74,8	38,7	-48%	66,6	-42%
	<i>A. funestus</i>	72,7	65,8	-9%	77,5	51,2	-34%	71,0	-28%
	<i>A. n. li</i>	84	82	-2%	72	55	-24%	71	-22%
IS %	<i>A. gambiae</i>	2,70	6,47	+140%	7,36	1,99	-73%	17,64	-89%
	<i>A. funestus</i>	2,31	4,22	+45%	5,02	1,86	-63%	7,28	-74%
	<i>A. n. li</i>	0	0	0%	1,82	0	-∞	1,82	-∞
h	<i>A. gambiae</i>	0,163	0,249	+53%	0,665	0,116	-82%	1,02	-88%
	<i>A. funestus</i>	0,157	0,363	+131%	0,414	0,080	-81%	0,96	-92%
	<i>A. n. li</i>	0	0	0%	0,035	0	-∞	0,035	-∞
	total	0,318	0,613	+92%	1,105	0,199	-82%	2,12	-91%

Tableau IV: Nombre de consultations, âge moyen des consultants, pourcentage des consultations faites en période de transmission (CT%), densité parasitaire moyenne à *Plasmodium falciparum* globale (d1) et chez les sujets positifs (d2) par quartiers et par années. Des moustiquaires imprégnées ont été utilisées à Massasso la seconde année.

		1 ^{ère} année	2 ^{ème} année
quartier KOKO	âge moyen	16,33	18,48
	CT %	70,4	47,9
	effectif	402	535
	d 1	38,86	11,93
	d 2	4076,52	4668,06
quartier MASSASSO	âge moyen	18,17	16,85
	CT %	27,0	62,8
	effectif	555	1041
	d 1	17,12	8,27
	d 2	2868,95	2442,07

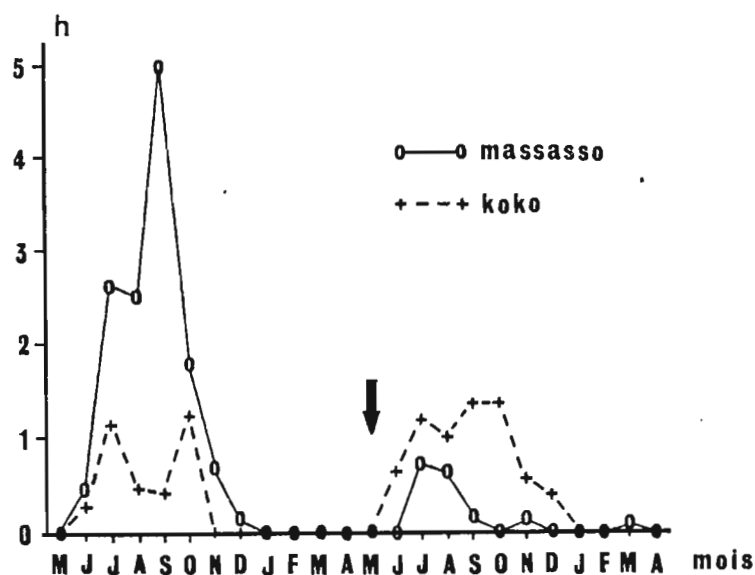
Tableau V: Répartition des accès palustre (AP) et prévalence parasitaire par classes d'âge dans le village de Karangasso pendant la première année ou année de prétraitement.

âge	< 1	[1,2[	[2,5[	[5,9[	[9,14[	[14,20[	≥ 20
effectif	56	65	122	62	84	73	269
AP	3	9	26	8	12	5	0
AP %	5,4	13,8	21,3	12,9	14,3	6,8	0,0
prévalence %	41,3	49,4	61,1	52,4	48,1	43,0	17,7

Tableau VI: Répartition des accès palustre (AP) et prévalence parasitaire par classes d'âge et par quartiers dans le village de Karangasso au cours de la seconde année où des moustiquaires imprégnées ont été utilisées à Massasso.

		âge	< 1	[1,2[	[2,5[	[5,9[	[9,14[	[14,20[	≥ 20
quartier KOKO	effectif		35	33	50	58	71	52	182
	AP		4	5	5	6	5	1	2
	AP %		11,4	15,2	10,0	10,3	7,0	1,9	1,1
	prévalence %		31,1	46,5	55,2	35,8	28,8	30,2	15,3
quartier MASSASSO	effectif		60	81	122	68	110	126	309
	AP		2	5	12	3	1	2	0
	AP %		3,3	6,2	9,8	4,4	1,0	1,6	0,0
	prévalence %		30,4	23,9	46,8	50,5	44,3	23,8	7,2

Figure 1: Evolution mensuelle du nombre de piqûres d'anophèles infectés reçues par homme et par jour (h) dans les deux quartiers du village de Karangasso. Des moustiquaires imprégnées de deltaméthrine ont été utilisées à Massasso à partir de Mai 1986 (flèche).



Influence des moustiquaires trouées imprégnées de deltaméthrine sur le contact homme-moustique et sur la mortalité des moustiques (1)

Vincent ROBERT (2)

Louti DIOMANDE (3)

Pierre CARNEVALE (2)

(1) Cette recherche a bénéficié d'une aide financière du programme spécial de recherche et de formation pour les maladies tropicales PNUD / Banque mondiale / OMS et du programme de lutte contre l'onchocercose (O.C.P.).

(2) Antenne ORSTOM du Centre Muraz, B.P.171, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. Adresse actuelle où sont à demander les tirés-à-part: OCEAC, B.P.288, Yaoundé, Cameroun.

(3) Centre universitaire de formation en entomologie médicale et vétérinaire, B.P.2597 Bouaké 01, Côte d'Ivoire.

Résumé

L'imprégnation de moustiquaires trouées à 25 mg/m² de deltaméthrine réduit de 32% les contacts entre un homme placé sous cette moustiquaire et les moustiques agressifs. Cette réduction est due uniquement à l'effet insecticide de la deltaméthrine. Un tiers des moustiques capturés dans la moustiquaire meurent dans les heures suivantes. La mortalité corrigée totale des moustiques est de 62%.

L'imprégnation à 50 mg/m² réduit de 44% les contacts entre l'homme et les moustiques. Cette réduction est due pour moitié à l'effet insecticide et pour moitié à l'effet répulsif de la deltaméthrine. Un huitième des moustiques capturés dans la moustiquaire meurent dans les heures suivantes. La mortalité corrigée totale des moustiques est de 41%.

Lorsque la moustiquaire, imprégnée à la même dose de 50 mg/m², est laissée en permanence dans la chambre de capture, le contact homme-moustiques diminue de 56%. Cette réduction est due pour un tiers à l'effet insecticide et pour deux tiers à l'effet répulsif de la deltaméthrine dans l'ensemble moustiquaire-chambre. Les moustiques capturés sur homme dans la moustiquaire ne subissent pas de mortalité particulière dans les heures suivantes. La mortalité corrigée totale des moustiques est immédiate et est de 23%.

Ces résultats mettent en évidence l'opposition entre l'effet répulsif à forte dose et l'effet insecticide à faible dose de la deltaméthrine. Pour une utilisation collective des moustiquaires imprégnées comme moyen de lutte antivectorielle privilégiant l'effet insecticide, les dosages à trop forte concentration doivent être évités.

Mots-Clés: Moustiquaire imprégnée, deltaméthrine, insecticide, répulsif.

Influence of holed nets impregnated with deltamethrin on the man-mosquito contact and on the mosquito mortality

Summary

The impregnation of holed nets with 25 mg of deltamethrin per square meter decreases by 32% the contacts between a man under this bed net and the aggressive mosquitoes. This decrease is due only to the insecticidal effect of deltamethrin. A third of the mosquitoes captured in the net die in the following hours. The total corrected mortality of mosquitoes amounts to 62%.

The impregnation with 50 mg / m² of deltamethrin decreases by 44% the contacts between man and mosquitoes. This decrease is due half to the insecticidal effect and half to the repellent effect of deltamethrin. The height pat of the mosquitoes captured in the net die in the following hours. The total corrected mortality of mosquitoes amounts to 41%.

When the net impregnated with 50 mg / m² of deltamethrin is left permanently in the capturing room, the man-mosquito contact decreases by 56%. This decrease is due for one third to the insecticidal effect and for two thirds to the repellent effect of deltamethrin in the whole net-room. Mosquitoes captured on man in the net are not subjected to any specific mortality in the following hours. The total corrected mortality of mosquitoes is immediate and amounts to 23%.

These results reveal the opposition between the repellent effect with a high dose of deltamethrin and the insecticidal effect with a low dose of deltamethrin. Too high concentrations of deltamethrin must be avoided so that the community could use impregnated mosquitoes as a vector control by emphasizing the insecticidal effect.

Key Words: impregnated net, deltamethrin, insecticide, repellent.

1. Introduction

Les moustiquaires constituent une protection efficace contre les nuisances occasionnées par les insectes nocturnes agressifs pour l'homme et contre les piqûres infectantes de nombreux vecteurs de paludisme, filariose de Bancroft et arboviroses. Mais les moustiquaires, en particulier en Afrique, sont souvent soit en mauvais état soit mal utilisées. Des recherches récentes portant sur l'imprégnation de moustiquaires trouées avec un insecticide de la classe des pyrèthrinoides montrent qu'une barrière chimique pallie partiellement une barrière physique déficiente (Darriet *et al.*, 1984). Le but de la présente étude est de chiffrer la réduction du nombre de piqûres de moustiques pour un homme qui utilise une moustiquaire trouée et imprégnée de deltaméthrine. D'autre part, sans vouloir mesurer précisément la mortalité culicidienne, on s'est intéressé, en fonction de la dose d'insecticide, aux variations concomitantes de la mortalité des populations de moustiques d'une part et d'un éventuel effet répulsif de l'insecticide pour les moustiques d'autre part.

Cette étude s'est déroulée entre février et mai 1987 dans le village VK4, au centre de la rizière de la Vallée du Kou, à 30km au nord de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. Ce village rizicole présente presque toute l'année une densité culicidienne considérable, due en particulier à *Anopheles gambiae* (Robert *et al.*, 1985).

2. Matériel et méthode

La deltaméthrine a été utilisée en concentré émulsifiable à 25g/l (K-Othrine®) à dose calculée d'après la surface de la moustiquaire. Les moustiquaires ont été imprégnées une seule fois. La dose d'insecticide a été diluée dans la quantité d'eau que peut absorber la moustiquaire. Cette dilution a été placée dans une bassine où la moustiquaire a été trempée. Le séchage a été effectué à plat pour éviter tout écoulement éventuel d'insecticide.

Les moustiquaires étaient de forme cubique et de 1,5m d'arête. Les quatre faces verticales étaient en tulle moustiquaire synthétique dans les 1,3m supérieurs et en percale coton dans les 0,2m inférieurs. La face supérieure était en percale coton. Dans le percale du toit et dans le tulle, 80 trous carrés de 55mm de côté ont été effectués, représentant 2% de la surface totale. Chaque moustiquaire mesurait alors 11 m².

La méthode d'estimation de l'effet de la deltaméthrine a été basée sur la capture de moustiques agressifs pour l'homme à l'intérieur des maisons. Quatre chambres à coucher, habituellement utilisées par des villageois, ont servi pendant toute l'étude. Ces chambres appartenaient à des maisons différentes, étaient comparables entre elles et localisées dans le même quartier du village, à même distance des casiers à riz. Un homme était assis dans une de ces chambres, sous une moustiquaire trouée et capturait individuellement dans de petits tubes en verre les moustiques qui se posaient sur ses jambes ou ses pieds dénudés.

Une séance de capture durait de 20h à 06h avec deux équipes de captureurs, l'une de 20h à 24h, l'autre de 00h à 06h. Chaque équipe était composée de quatre captureurs; deux capturaient sous deux moustiquaires témoins et deux sous moustiquaires imprégnées. Les mêmes huit captureurs ont servi pendant toute l'étude en changeant systématiquement d'équipes et de situations, capturant alternativement sous moustiquaire témoin ou imprégnée. A la fin de chaque capture les moustiques étaient aussitôt amenés au laboratoire où étaient notées l'espèce et la survie; les anophèles survivants étaient disséqués pour la détermination du taux de parturité.

En plus un drap blanc carré de 3,5m de côté était placé sur le sol sous la moustiquaire trouée et débordait largement à l'extérieur de cette dernière. La récolte des moustiques morts sur le drap a été faite toute les heures, soit dix fois par capture.

Trois expériences indépendantes ont été réalisées.

-Expérience I: deux moustiquaires imprégnées à 25 mg/m² de tissu ont été placées dans les chambres uniquement pendant la durée de 10 captures et étaient déplacées à chaque capture.

-Expérience II: deux moustiquaires imprégnées à 50 mg/m² ont également été placées dans les chambres pendant 5 captures; elles ont aussi changé de chambres à chaque capture.

-Expérience III: deux moustiquaires imprégnées à 50 mg/m² ont été laissées en permanence dans deux chambres pendant 25 jours, période durant laquelle on a effectué 9 captures.

La méthodologie de l'évaluation a été basée sur la comparaison de la situation avec deux moustiquaires imprégnées par rapport à la situation avec deux moustiquaires témoins. Trois mesures ont été retenues:

- les moustiques (ma) capturés vivants sur sujets humains
- les moustiques (d) récoltés morts sur les draps
- les moustiques (q) qui mourraient dans les heures suivant la capture après avoir été capturés vivants sur sujets humains.

La densité culicidienne a été estimée par ma. L'effet répulsif a été estimé par la réduction du total ma + d. La mortalité immédiate a été estimée par la proportion d / (ma + d). La mortalité différée a été estimée par la proportion q / ma; la mortalité différée corrigée a été calculée avec la formule d'Abbott. La mortalité générale a été estimée par la proportion (d+q) / (ma+d); la mortalité générale corrigée a été calculée avec la formule d'Abbott.

3. Résultats

24 séances de capture soit 96 hommes-nuits ont permis la capture de 9232 moustiques vivants sur sujets humains sous moustiquaires et la récolte de 1660 autres, morts sur draps; au total 10872 moustiques ont donc été pris en compte pour l'analyse.

Anopheles gambiae représente 56% des captures et 71% des récoltes. *A. pharoensis* représente respectivement 23% et 11%, numériquement il constitue la seconde espèce. Les autres espèces représentant chacune de 5% à 1% des captures sont par ordre décroissant *Mansonia uniformis*, *A. coustani*, *M. africana*, *Culex univittatus* et *C. quinquefasciatus*.

3.1. Effet sur la densité culicidienne agressive pour l'homme

Toutes espèces culicidiennes confondues la réduction de la densité culicidienne, pour les expériences I, II et III, est respectivement de 32%, 44% et 56% (tabl.1). Cette réduction varie selon les espèces culicidiennes.

Les densités agressives d'*A. gambiae* dans les expériences I, II et III diminuent respectivement de 25%, 27% et 42%. Celles d'*A. pharoensis* dans les expériences I et III diminuent respectivement de 46% et 52%. Celle d'*A. coustani* dans l'expérience III diminue de 59%.

Les densités agressives de *M. africana* et de *M. uniformis* dans l'expérience I et la moyenne des expériences II et III diminuent chacune respectivement de 54% et 69%

Les densités agressives de *C. univittatus* pour les expériences II et III diminuent de 60% et 75%. Celles de *C. quinquefasciatus* dans les trois expériences diminuent de 75%.

Pour *A. gambiae* les taux de parturité et les proportions de femelles gravides sont semblables dans les situations avec moustiquaires imprégnées et avec moustiquaires témoins.

3.2. Effet répulsif de la deltaméthrine

Toutes espèces culicidiennes confondues l'effet répulsif pour les expériences I, II et III est respectivement de 0%, 22% et 41% (tabl. 1). Cette réduction varie selon les espèces.

L'effet répulsif d'*A. gambiae* diminue de 29% dans l'expérience III et est légèrement supérieur au témoin dans les expériences I et II. Celui d'*A. pharoensis* dans les expériences I, II et III diminue respectivement de 36%, 26% et 42%. Celui d'*A. coustani* dans l'expérience III diminue de 17%.

L'effet répulsif de *M. africana* dans les expériences I, II et III diminue respectivement de 35%, 68% et 55% et celui de *M. uniformis* de 35%, 54% et 14%.

L'effet répulsif de *C. univittatus* pour les expériences II et III diminue respectivement de 40% et 67%. Celui de *C. quinquefasciatus* pour l'expérience I et pour la moyenne des expériences II et III diminue chacun de 66%.

3.3. Effet sur la mortalité immédiate

Toutes espèces culicidiennes confondues la mortalité immédiate dans la moyenne des trois situations témoins est de 1,02%. Par différence les mortalités immédiates dans les expériences I, II et III sont respectivement 33%, 28% et 26% (tabl. 1) et varient en fonction des espèces.

Les mortalités immédiates d'*A. gambiae* dans les expériences I, II et III sont respectivement 35%, 30% et 19%. Celles d'*A. pharoensis* pour chacune des trois expériences sont 16%. Celle d'*A. coustani* pour l'expérience III est 51%.

Les mortalités immédiates de *M. africana* dans les expériences I et III sont respectivement 29% et 11%. Celles de *M. uniformis* pour les expériences I, II et III sont respectivement 30%, 62% et 47%.

Les mortalités immédiates de *C. univittatus* pour les expériences II et III sont respectivement 34% et 25%. Celle de *C. quinquefasciatus* pour l'expérience I est 27%.

3.4. Effet sur la mortalité différée

Toutes espèces culicidiennes confondues la mortalité différée dans la moyenne des situations témoins est 35%; pour *A. gambiae* elle est 28%. Les mortalités différées corrigées pour les expériences I, II et III sont respectivement 42%, 19% et 0% (tabl.1) et varient en fonction des différentes espèces.

Les mortalités différées corrigée d'*A. gambiae* pour les expériences I, II et III sont respectivement 46%, 16% et 5%. Celles d'*A. pharoensis* pour les expériences I et II sont respectivement 16% et 29%. Pour l'expérience III celles d'*A. pharoensis* et d'*A. coustani* sont légèrement supérieures dans la situation témoin.

Les mortalités différées corrigées de *M. africana* pour les expériences I et III sont respectivement 1% et 27%. Celles de *M. uniformis* pour les mêmes expériences sont respectivement 14% et 10%.

Les mortalités différées corrigées de *C. univittatus* pour les expériences II et III sont respectivement 11% et 0%. Celle de *C. quinquefasciatus* pour l'expérience I est 0%.

3.5. Effet sur la mortalité générale

Toutes espèces culicidiennes confondues la moyenne de la mortalité générale dans les situations témoins est 36%; pour *A. gambiae* elle est 29%. Les mortalités générales corrigées pour les expériences I, II et III sont respectivement 62%, 41% et 23% (tabl.1) et varient en fonction des espèces.

Les mortalités générales corrigées d'*A. gambiae* pour les expériences I, II et III sont respectivement 65%, 41% et 23%. Celles d'*A. pharoensis* sont respectivement 18%, 41% et 8%. Celle d'*A. coustani* pour l'expérience III est 37%.

Les mortalités générales corrigées de *M. africana* pour les expériences I, II et III sont respectivement 30%, 25% et 36%. Celles de *M. uniformis* sont respectivement 40%, 63% et 53%.

Les mortalités générales corrigées de *C. univittatus* pour les expériences II et III sont respectivement 41% et 26%. Celle de *C. quinquefasciatus* pour l'expérience I est 29%.

4. Discussion

Dans l'expérience I, avec 25 mg de deltaméthrine / m² de moustiquaire, aucune répulsivité n'est observée; la densité culicidienne agressive, la mortalité immédiate et la mortalité différée sont maximales. Dans l'expérience II, avec 50 mg / m² la répulsivité est notable; la densité agressive, la mortalité immédiate et surtout la mortalité différée diminuent. Dans l'expérience III, avec aussi 50 mg / m² et le maintien en place dans la chambre de capture des moustiquaires imprégnées, la répulsivité est maximale; la densité agressive est minimale; la mortalité immédiate persiste avec une légère réduction, la mortalité différée est nulle. Ces résultats mettent en évidence l'opposition entre l'effet répulsif maximum à forte dose et l'effet insecticide maximum à dose moyenne; ils vont dans le même sens que la mise en évidence de l'effet répulsif de la perméthrine sur des abeilles (Rieth & Levin, 1988).

Les effets insecticide et répulsif s'expriment de façon variable chez les différentes espèces culicidiennes; *A. gambiae*, par rapport à la moyenne des espèces, manifeste une plus grande sensibilité à l'effet insecticide et une moindre à l'effet répulsif. Le classement des genres de moustiques par ordre croissant de la mortalité différée est: *Culex*, *Mansonia* et *Anopheles*, soit l'ordre inverse de celui de l'effet répulsif. On remarquera l'importante réduction de 75% du contact homme-*Culex quinquefasciatus* due à l'imprégnation de la moustiquaire trouée; cet effet intéressera particulièrement le contrôle des nuisances en zone urbaine.

La densité culicidienne agressive pour l'homme est sous la dépendance à la fois de l'effet répulsif et de la mortalité immédiate due à l'insecticide. Elle est minimale dans l'expérience III bénéficiant davantage d'une forte augmentation de la répulsivité qui s'oppose à une plus faible réduction de la mortalité.

La mortalité culicidienne totale résulte de la somme entre la mortalité immédiate au voisinage des moustiquaires imprégnées et la mortalité différée dans les heures qui suivent la capture des moustiques. A cet égard les estimations de la mortalité immédiate et de la mortalité différée sont certainement sous-estimées au moins de moitié par la méthode. En effet les moustiques sont capturés alors qu'ils ont traversé la moustiquaire trouée dans le sens de l'entrée et il est probable que le risque pour eux de prendre une dose mortelle

d'insecticide est encore supérieur dans le sens de la sortie de la moustiquaire, car un moustique gorgé a davantage tendance à se poser.

Les moustiquaires imprégnées utilisées dans une optique de protection individuelle doivent procurer une réduction maximale des contacts avec les moustiques agressifs; l'imprégnation avec une forte dose de deltaméthrine servira ce but. Par contre une utilisation dans une optique d'un moyen collectif de lutte contre le paludisme doit avant tout entraîner une mortalité anophélienne maximale; pour ce faire on prendra garde d'éviter les sur-doses d'insecticide. Les récentes utilisations à 25 mg / m² en Chine (Li Zuzi *et al.*, 1987) et au Burkina Faso (Carnevale *et al.*, 1988) constituent aux vues de nos observations un maximum à ne pas dépasser. L'observation d'un effet comparable avec un traitement à 15 mg /m² et à 25 mg/m² (Li Zuzi, 1987) constitue à cet égard un argument supplémentaire.

Remerciements: Les auteurs sont redevables de la parfaite assistance technique de Ouedraogo Vincent et de Sanou Mamourou. Ils remercient Jean Mouchet pour le soin qu'il a apporté à la correction du manuscrit et remercient aussi Roussel Uclaf pour leur avoir gracieusement procuré l'insecticide.

BIBLIOGRAPHIE

CARNEVALE (P.), ROBERT (V.), BOUDIN (C.), HALNA (J.-M.), PAZART (L.), GAZIN (P.), RICHARD (A.) & MOUCHET (J.), 1988.- La lutte contre le paludisme par les moustiquaires imprégnées de pyréthrinoïdes au Burkina Faso. *Bull. Soc. Patho. exo.*, 81,4, à paraître.

DARRIET (F.), ROBERT (V.), THO VIEN (N.) & CARNEVALE (P.), 1984.- Evaluation de l'efficacité sur les vecteurs de paludisme de la perméthrine en imprégnation sur des moustiquaires intactes et trouées. WHO / VBC / 84.899 ou WHO / MAL / 84.1009.

LI ZUZI, 1987.- Practical evaluation of deltamethrin treated mosquito nets against *Anopheles sinensis* populations and malaria prevention. Quatrième congrès pour la protection de la santé humaine et des cultures en milieu tropical, Marseille, France, Juillet, pp. 627-628.

LI ZUZI, XU JINJIANG, LI BANGQUAN, ZHU TAIHUA & LI MINGXIN, 1987.- Mosquito nets impregnated with deltamethrin against malaria vectors in China. WHO / VBC / 87.939.

RIETH (J.P.), LEVIN (M.D.), 1988.- The repellent effect of two pyrethroid insecticides on the honey bee. *Physio. Entomol.*, 13: 213-218.

ROBERT (V.), GAZIN (P.), BOUDIN (C.), MOLEZ (J.-F.), OUEDRAOGO (V.) & CARNEVALE (P.), 1985.- La transmission du paludisme en zone de savane arborée et en zone rizicole des environs de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. *Ann.Soc.belge Méd.trop.*, 65, Suppl.2: 201-214.

Tableau 1. Principaux résultats des trois expériences d'imprégnation de moustiquaires trouées avec de la deltaméthine. Les mortalités différée et générale ont été calculées par la formule d'Abbott.

Table 1. Main results obtained with three experiments of holed nets impregnated with deltamethrin. The delayed and total mortalities were calculated with the Abbott's formula.

Expérience n°	Dose d'imprégnation	Maintien de la moustiquaire dans la chambre entre les captures	Nombre de moustiques capturés vivants sur hommes; et pourcentage de réduction de l'agressivité	Total du nombre de moustiques capturés vivants sur hommes et récoltés morts sur draps; et pourcentage de répulsivité	Mortalité culicidienne		
					immédiate	différée	générale
1	25 mg / m ²	non	2093	3182	34%	60%	74%
	0 (témoin)		3060 32%	3093 ≈0%	1% 33%	31% 42%	32% 62%
2	50 mg / m ²	non	398	557	28%	45%	60%
	0 (témoin)		712 44%	718 22%	1% 28%	32% 19%	32% 41%
3	50 mg / m ²	oui	906	1238	27%	42%	57%
	0 (témoin)		2063 56%	2084 41%	1% 26%	43% ≈0%	44% 23%

Pyrethroid impregnated bed nets in the malaria control strategy at community level

Vincent ROBERT, Pierre CARNEVALE & Jean MOUCHET
ORSTOM, 213 rue La Fayette, 75010 Paris, France.

As early as 1910 Ross recommended bed nets as a protection against infective bites of vector anophelines. Bed nets also provide an efficient protection against many other biting insects and are an element of comfort. But despite this protective effect they did not significantly decrease the risk of infection and of morbidity in highly endemic areas (Snow *et al.*, 1988).

Impregnation of bed nets with knock down acting pyrethroid insecticides (deltamethrin, permethrin) with a long residual effect improved their capacity for protecting sleepers even if the net is in poor condition or not properly maintained, as is often the case in the field. Significant decrease in parasitaemia and incidence of malaria cases was indeed observed among children sleeping under impregnated nets in The Gambia (Snow *et al.*, 1987), in the Papua New-Guinea (Graves *et al.*, 1987) and in the Burkina Faso (Carnevale *et al.*, 1988).

The main advantage of impregnated nets is not only the direct protection of sleepers but also its potential as a tool for a mass campaign when used by most of the community members. Bed nets act as traps baited by sleepers attracting and, when impregnated, killing selectively the anthropophilic mosquitoes. Mosquitoes are killed before biting and not after as is the case in the house spraying, which is an important entomological and psychological advantage; by this way the possible irritant and repellent effect of the insecticide is synergistic of its lethal effect to break the man / vector contact. Mosquito populations and above all their mean longevity have been drastically reduced. As a consequence of this protective and insecticide action, malaria incidence has decreased by more than 95% in a district of China where the entire population slept under deltamethrin impregnated nets (Li Zuzi *et al.*, to be published). In an hyperendemic area of the Burkina Faso we have observed that the collective use of impregnated nets in a village of 1200 people reduced the transmission by 90% even for those not sleeping under nets (Carnevale *et al.*, 1988).

As already emphasized (Mouchet, 1987), pyrethroid impregnated bed nets could be a major weapon for malaria control when used by most of the community members. In this perspective it should be pointed out that the experiment should be made in areas as large as possible to avoid the entry of mosquitoes from untreated areas. In order to reveal the effect of mass scale use of impregnated bed nets it must be evaluated not only with the entomological data but also, as done in above-mentioned trials, with epidemiological data including clinical aspects; the latter constitute the final objective of malaria control. The impregnation is cheap, the technique is simple and can be performed in the framework of Primary Health Care with community participation (Snow *et al.*, 1988b). Of course there could be some problems in providing inhabitants with bed nets and other problems due to their reluctance to sleep under nets in areas where they do not use them yet. So far no resistance to pyrethroid has been observed among vector anophelines but it could occur. Therefore further researches must be conducted both on the acceptability of bed nets and on other classes of insecticide compounds. It must be underlined that this method is of particular interest in areas of malaria drug resistance where the treatment of malaria attack could outstrip the local therapeutic facilities.

Carnevale P., Robert V., Boudin C., Halna J.-M., Pazart L., Gazin P., Richard A., Mouchet J.: La lutte contre le paludisme par des moustiquaires imprégnées de pyrèthroïdes au Burkina Faso. *Bull. Soc. Path. exot.*, 81, 4, in press (1988).

Graves P., Brabin B., Charlwood J., Burkot T., Cattani J., Ginny M., Paino J., Gibson F., Alpers M.: Reduction in incidence and prevalence of *Plasmodium falciparum* in under-5-year-old children by permethrin impregnation of mosquito nets. *Bull. Wor. Heal. Org.*, 65, 869-877 (1987).

Mouchet J.: Deltamethrin impregnated bed nets, an alternative for mosquito and malaria control. VIII Congreso latinoamericano de Parasitologia, Guatemala, p.201 (Nov. 17-22, 1987).

Snow R., Phillips A., Lindsay S., Greenwood B.: How best to treat bed nets with insecticide in the field. *Trans. roy. Soc. trop. Med. Hyg.*, 82, 647-648 (1988b).

Snow R., Rowan K., Greenwood B.: A trial of permethrin-treated bed nets in the prevention of malaria in Gambian children. *Trans. roy. Soc. trop. Med. Hyg.*, 81, 563-567 (1987).

Snow R., Rowan K., Lindsay S., Greenwood B.: A trial of bed nets (mosquito nets) as a malaria control strategy in a rural area of The Gambia, West Africa. *Trans. roy. Soc. trop. Med. Hyg.*, 82, 212-215 (1988a).

Evaluation sur homme et sur moustiquaire de l'activité d'un savon contenant un répulsif et un pyréthrianoïde

Louti DIOMANDE (1)

Vincent ROBERT (2)

Pierre CARNEVALE (2)

(1) Médecin entomologiste, CEMV 01 B.P.2597, Bouaké, Côte d'Ivoire.

(2) Entomologistes médicaux, Antenne ORSTOM du Centre Muraz, B.P.171, Bobo Dioulasso, Burkina Faso. Adresse actuelle où sont à demander les tirés-à-parts: OCEAC, B.P.288, Yaoundé, Cameroun.

Résumé:

L'efficacité d'un savon contenant 20% de DEET et 0,5% de perméthrine est évaluée sur la limitation du contact hommes-moustiques dans un village d'Afrique de l'Ouest. Lorsque le savon est appliqué sans rinçage sur un homme, celui-ci bénéficie d'une réduction de 19% de la densité culicidienne agressive pendant six heures. Lorsque le savon imprègne une moustiquaire trouée, un homme placé dessous bénéficie d'une réduction de 55% de la densité culicidienne la nuit où la moustiquaire a été imprégnée; cette réduction est de 25% trois jours après l'imprégnation et n'est plus observée après sept jours. Lorsque le savon est appliqué à la fois sur homme et sur moustiquaire la réduction de la densité agressive pour l'homme est de 84% la première nuit et de 51% pendant 2 semaines.

L'effet répulsif du savon est variable selon les espèces culicidiennes; il est maximum avec *Anopheles gambiae* s.s. et *Culex quinquefasciatus*.

Mots-Clés: Moustique, Répulsif, Savon, Moustiquaire imprégnée, Burkina Faso.

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF A SOAP CONTAINING REPELLENT AND PYRETHROID ON MAN AND ON BED NET

Summary:

An experiment was carried out during 6 nights with 24 men-nights to evaluate the efficiency of a soap containing 20% DEET and 0.5% permethrin on man-mosquito contacts. It was conducted in VK4, a rice-field village of Burkina Faso where mosquito aggressivity was intense.

Soap was applied every 4 or 6 hours on man, without any rinsing following manufacturing instructions, and only once on holed bed-nets using half a soap (20g) per net.

Soap on man led to a decrease of the mosquito density by 19% during 6 hours. Soap impregnated holed net decreased this density by 55% when the impregnation was made, by 25% after 3 days and the decrease of density was not observed after 7 days. When both man and net were soaped, mosquito aggressivity decreased by 84% the first day and by 51% during two weeks.

The repellent efficiency was maximum on *Anopheles gambiae* s.s., *Culex quinquefasciatus*, *Mansonia uniformis* and *M. africana*, intermediate on *A. coustani* and *A. pharoensis* and low on *C. univittatus*.

Our data did not reveal any mortality effect of the soap.

In spite of its effective repellent activity, this soap cannot be recommended as a protection against mosquito bites unless some improvements are made concerning the efficiency, persistence and perhaps a formulation for rinsing on man.

Key Words : mosquitoes, repellent, soap, impregnated bed net, Burkina Faso.

1. Introduction

La lutte contre les moustiques est surtout menée avec des insecticides et se heurte actuellement au développement de la résistance des principaux vecteurs. La lutte contre l'agent du paludisme se heurte également à la résistance du parasite, en particulier à la chloroquinorésistance. Ces constats stimulent la recherche de nouvelles protections efficaces et réalisables par les populations concernées. Ainsi, des produits répulsifs d'application dermique (Curtis, 1986), des moustiquaires imprégnées de perméthrine (Darriet *et al.*, 1984; Lines *et al.*, 1987; Snow *et al.*, 1987) ou de deltaméthrine (Carnevale *et al.*, 1988) ont été expérimentés.

Un produit répulsif, le DEET, et un produit insecticide, la perméthrine, ont été introduits dans un savon qui a été testé en Malaisie (Yap, 1986). Les résultats du test de ce même savon sur des moustiques d'Afrique de l'Ouest sont présentés ici. La notice d'utilisation du savon insistait sur le fait qu'il devait être appliqué directement sur la peau sans rinçage de la mousse. Devant cette mention surprenante pour l'utilisation d'un savon les auteurs ont évalué son efficacité en application sur hommes et en imprégnation de moustiquaires trouées.

2. Matériel et méthode

Le savon, de couleur blanc-crème, a une forme parallélépipédique de 43 cm³ et pèse 40g. Il comprend huit substances nettoyantes acides, 20% de DEET et 0,5% de perméthrine.

L'expérimentation s'est déroulée dans le village de VK4 (Vallée du Kou n° 4), situé à 30 km au nord de Bobo-Dioulasso, dans le sud-est du Burkina Faso. Ce village regroupe 1000 habitants; il est implanté au centre d'une zone rizière irriguée toute l'année et présente une densité culicidienne élevée (Robert *et al.*, 1985).

Six captures de nuit sur sujets humains protégés ont été effectuées du 4 au 18 mai 1987 dans quatre pièces apparemment identiques et servant habituellement de chambres à coucher. Une équipe de quatre captureurs a travaillé de vingt heures à minuit et une autre équipe a travaillé de minuit à six heures. Les mêmes huit captureurs ont servi durant toute l'expérimentation; chacun a changé d'équipes et de pièces à chaque capture. Les captureurs étaient assis sur un tabouret, les jambes dénudées jusqu'au dessus du genou.

Les moustiques capturés étaient regroupés par tranches horaires. A la fin de la capture ils étaient ramenés au laboratoire pour déterminer leurs espèces et pour noter leurs mortalités éventuelles.

Quatre moustiquaires ont été utilisées. Chacune avait une forme cubique avec des arêtes de 1,5 m. Les faces verticales étaient en tulle moustiquaire synthétique sur les 1,3 m supérieurs; les 0,2 m inférieurs et le toit étaient en percale coton. Dans la percale du toit et le tulle des quatre moustiquaires 80 trous ont été effectués. Ces trous carrés de 5,5 cm de côté représentaient 2% de la surface de chaque moustiquaire qui mesurait alors 11 m².

Deux moustiquaires ont été imprégnées, chacune une seule fois avant le début de la première capture, avec une moitié de savon et de la manière suivante: on a placé 400ml d'eau distillée dans une bassine et on a fait mousser le savon en le frottant à la moustiquaire puis on a rajouté par petites quantités 400 autres ml d'eau. Le séchage s'est effectué à plat, sans perte d'eau savonneuse par écoulement. Les quatre mêmes moustiquaires ont servi durant toute l'expérimentation; chacune a changé de pièce de capture à chaque capture.

Deux captureurs étaient abondamment enduits de mousse de savon du bout des pieds jusqu'au dessus du genou. Cette mousse a séché rapidement et n'a pas été rincée. Le savonnage des captureurs avait lieu juste avant le début de la capture. Il y avait donc deux séances de savonnage, quelques minutes avant 20h et avant 00h.

Lors de chaque capture quatre situations ont été expérimentées:

- un captureur non savonné sous une moustiquaire trouée non savonnée (situation témoin),
- un captureur savonné sous une moustiquaire trouée non savonnée,
- un captureur non savonné sous une moustiquaire trouée savonnée,
- un captureur savonné sous une moustiquaire trouée savonnée.

Chacune de ces quatre situations a été expérimentée par roulement dans chacune des quatre pièces de capture.

3. Résultats

3.1. Effet répulsif sur l'ensemble de la faune culicidienne

Quand le captureur est enduit de savon la réduction moyenne de l'agressivité culicidienne est de 19% par rapport à la situation témoin.

Quand la moustiquaire trouée est imprégnée de savon la réduction est de 55% le premier jour.

Quand le captureur et sa moustiquaire trouée sont savonnés, la réduction est de 84% le premier jour et de 51% sur l'ensemble des six captures réparties en deux semaines (tabl.1).

3.2. Effet répulsif sur les différentes espèces culicidiennes

L'effet répulsif du savon est très variable suivant les espèces culicidiennes (tabl.2). Cet effet est maximum pour *Anopheles gambiae* sensu stricto (seul représentant du complexe *A. gambiae* dans ce village), *Culex quinquefasciatus*, *Mansonia uniformis* et *M. africana*. Il est intermédiaire pour *A. coustani* et *A. pharoensis* et faible pour *C. univittatus*. Les effectifs capturés d'*A. funestus* et de *C. poicilipes* sont trop faibles pour pouvoir se prononcer sur ces espèces.

3.3. Durée d'efficacité de l'effet répulsif

La répulsivité du savon est observée sur homme pendant au moins six heures. A minuit, lors de la mise en place d'un second capteur récemment enduit, on observe une nette réduction du nombre de moustiques capturés par rapport à la tranche horaire précédente (fig.1).

Sur moustiquaire la répulsivité du savon passe de 55% la première nuit après l'imprégnation à 25% la troisième, puis à 0% la septième (tabl.1).

3.4. Effet insecticide du savon

Pour chacune des quatre situations expérimentales la fréquence des moustiques morts après la capture, une fois arrivés au laboratoire varie entre 29% et 31% sans différence significative. Ainsi, aucune mortalité due à un éventuel effet insecticide n'a été mise en évidence.

4. Discussion et conclusion

Le savon expérimenté possède un effet répulsif certain sur les espèces culicidiennes agressives pour l'homme, la nuit, dans les maisons de la zone rizière de la Vallée du Kou au Burkina Faso. Cet effet est quantitativement moins important que celui observé par Yap (1986) avec le même savon sur des moustiques de Malaisie, puisque la réduction de l'agressivité culicidienne sur homme savonné était de 84% à 100%.

Nos observations sont en accord avec celles de Schreck (1977) sur l'efficacité variable des répulsifs sur différentes espèces culicidiennes. Ce savon répulsif semble être d'une efficacité et d'une rémanence comparables aux répulsifs comme le DEET et le diméthyl-phtalate utilisés sous de nombreuses autres formulations (Curtis, 1986; Bergman *et al.*, 1986).

Des études complémentaires seraient nécessaires pour chiffrer la rémanence du savon sur homme car la méthodologie employée autorise au plus la constatation de l'efficacité du répulsif pendant six heures, de minuit à six heures.

Il est à remarquer, dans le cas où le captureur est enduit de savon, que la densité de moustiques agressifs pour l'homme de 20h à 22h a été trouvée supérieure à la densité témoin (fig.1). Ceci reste inexpliqué et semble anormal; la valeur observée de la répulsivité du savon sur homme serait donc sous-estimée. En ne considérant pas ces deux tranches horaires la réduction de la densité culicidienne agressive est alors de 34% (alors qu'elle représente 19% sur la totalité de la nuit).

Un savon répulsif est une excellente idée et est adéquat pour l'imprégnation des tissus. Le savon testé ne présente pas d'avantage décisif par rapport aux répulsifs classiques présentés sous d'autres formulations. Sous réserve d'améliorations portant sur l'efficacité, la rémanence et éventuellement la formulation autorisant un rinçage de la peau, ce savon pourrait alors être reconnu comme une nouvelle méthode de protection facilement utilisable par les communautés villageoises contre les nuisances entomologiques et les maladies transmises par les moustiques.

Remerciements: les auteurs remercient Monsieur Paul Simmons et Simmons Nominiees Pty-Ltd pour leurs avoir procuré le savon et sa composition.

BIBLIOGRAPHIE

BERGMAN (E.D.), PINSKY (I.), AIZENSHTAT (Z.) & BAR-ZEEV (M.), 1976.- Study of synthetic compounds as repellents against the mosquitoes *Culex pipiens molestus* and *Aedes aegypti*.

Israel. J. Entomol., 11: 15-31.

CURTIS (C.F.), 1986.- Fact and fiction in mosquito attraction and repulsion.

Parasito. Today, 2, 11: 216-218.

DARRIET (F.), ROBERT (V.), THO VIEN (N.) & CARNEVALE (P.), 1984.- Evaluation de l'efficacité sur les vecteurs de paludisme de la perméthrine en imprégnation sur des moustiquaires intactes et trouées.

WHO/VBC/84.899 - WHO/MAL/84.1008.

LINES (J.D.), MYAMBA (J.) & CURTIS (C.F.), 1987.- Experimental hut trials of permethrine-impregnated mosquito nets and eave curtains against malaria vectors in Tanzania.

Med. Vet. Entomol., 1: 37-51.

ROBERT (V.), GAZIN (P.), BOUDIN (C.), MOLEZ (J.F.), OUEDRAOGO (V.) & CARNEVALE (P.), 1985.- La transmission du paludisme en zone de savane arborée et en zone rizicole des environs de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso.

Ann. Soc. belge Med. trop., 65 suppl.2: 201-214.

SNOW (R.W.), ROWAN (K.M.) & GREENWOOD (M.), 1987.- A trial of permethrin-treated bed nets in the prevention of malaria in Gambian children.

Trans. Roy. Soc. trop. Med. Hyg., 81: 563-567.

SCHRECK (C.E.), 1977.- Technique for the evaluation of insect repellents: a critical review.

Ann. Rev. Entomol., 22: 101-119.

YAP (H.H.), 1986.- Effectiveness of soap formulations containing DEET and permethrin as personal protection against outdoor mosquitoes in Malaysia.

J. am. Mosq. Control. Assoc., 2, 1: 63-67.

Tableau 1. Nombre quotidien de moustiques agressifs pour l'homme sous moustiquaires trouées et pourcentage par rapport au témoin, selon que les captureurs de moustiques et / ou les moustiquaires soient imprégnés (+) ou non (-) de savon répulsif.

Table 1. Number of daily aggressive anthropophilic mosquitoes under holed nets and percentage as related to the control, according to whether (+) or not (-) the mosquito catchers and / or the nets are impregnated with repellent soap.

Captureur	-	+		-		+		TOTAL
Moustiquaire trouée	-	-		+		+		
4 mai 1987	114	42	-63 %	51	-55 %	18	-84 %	225
7 mai 1987	119	105	-12 %	89	-25 %	100	-16 %	413
11 mai 1987	43	44	+ 2 %	43	+ 0 %	3	-93 %	133
13 mai 1987	27	62	+ 129 %	11	-59 %	8	-70 %	108
14 mai 1987	34	26	-23 %	46	+ 35 %	37	+ 8 %	143
18 mai 1987	24	12	-50 %	18	-25 %	11	-54 %	65
TOTAL	361	291	-19 %	258	-29 %	177	-51 %	1087

Tableau 2. Nombre et espèce de moustiques agressifs pour l'homme sous moustiquaires trouées et pourcentage par rapport au témoin, selon que les captureurs de moustiques et / ou les moustiquaires soient imprégnés (+) ou non (-) de savon répulsif.

Table 2. Number and species of aggressive anthropophilic mosquitoes under holed nets and percentage as related to the control according to whether (+) or not (-) the mosquito catchers and / or the nets are impregnated with repellent soap.

Captureur	-	+		-	+		TOTAL	
Moustiquaire trouée	-	-		+		+		
Anopheles gambiae	110	59	-46 %	70	-36 %	39	-65 %	278
Anopheles pharoensis	106	125	+ 18 %	103	-3 %	64	-40 %	398
Anopheles coustani	43	42	-2 %	32	-26 %	26	-40 %	143
Anopheles funestus	2	0		0		5		7
Culex quinquefasciatus	20	3	-85 %	10	-50 %	7	-65 %	40
Culex univittatus	29	25	-14 %	28	-4 %	22	-25 %	104
Culex poicillipes	2	4		3		0		9
Mansonia spp.	49	33	-32 %	12	-76 %	14	-72 %	108
TOTAL	361	291	-19 %	258	-29 %	177	-51 %	1087

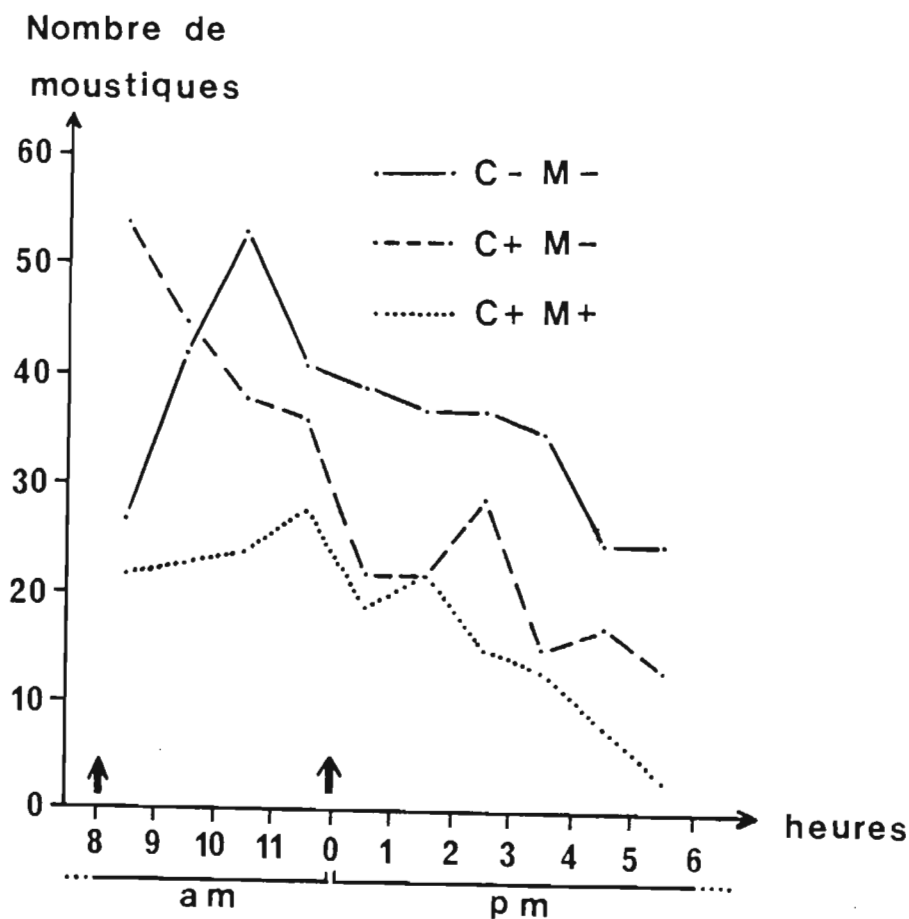


Figure 1. Evolution horaire du nombre de moustiques agressifs capturés sous moustiquaires trouées, selon que les captureurs de moustiques (C) et / ou les moustiquaires (M) soient imprégnés (+) ou non (-) de savon répulsif. Les flèches indiquent le moment où les captureurs se sont imprégnés de savon.

Figure 1. Hourly evolution of the number of aggressive anthropophilic mosquitoes under holed nets according to whether (+) or not (-) the mosquito catchers (C) and / or the nets (M) are impregnated with repellent soap. Arrows show the time of impregnation of soap for the mosquito catchers.

Influence de deux stratégies médicamenteuses par chloroquine (prophylaxie et thérapie des accès fébriles) sur la transmission du paludisme (1)

Vincent ROBERT (2), Jean-Pierre HERVY (2), Dominique BAUDON (3),

Jean ROUX (3), Fabrice LEGROS (2) & Pierre CARNEVALE (2)

(1) Cette étude a bénéficié du soutien financier du Programme spécial P.N.U.D. / Banque mondiale / O.M.S. de recherche et de formation concernant les maladies tropicales.

(2) ORSTOM, 213 rue La Fayette, 75010 Paris, France.

(3) Institut de médecine tropicale du service de santé des armées, Le Pharo, 13998 Marseille armées, France.

RESUME

Un programme réalisé pendant 3 ans dans 12 villages du sud-ouest du Burkina Faso, a évalué deux stratégies de contrôle du paludisme à base de chloroquine: la prophylaxie pour les enfants et adolescents et la thérapie systématique des accès fébriles pour toute la population. Ces deux stratégies ont entraîné une nette réduction de l'indice gamétocytaire des enfants de 2 à 9 ans. Lorsque les variations significatives des indices sporozoïtiques des principaux anophèles vecteurs n'étaient pas liées à celles des taux de parturité, elles étaient liées à celles des indices gamétocytiques des enfants. Aussi la réduction du réservoir infectant pour le vecteur a semblé entraîner une baisse de l'infectivité des anophèles, donc une baisse de la transmission.

Mots-clés: Paludisme, Chloroquine, Transmission.

SUMMARY

Impact of two malaria control strategies based on chloroquine (prophylaxis and therapy of febrile cases) on malaria transmission

A 3 years study was decided in 12 villages of the South-West Burkina Faso to compare the chemoprophylaxis and the chemotherapy of febriles as potential malaria control strategies. During the first year pretreatment data were collected. During the two following years a programme carried out (i) prophylaxis (10 mg chloroquine / Kg body weight) was given weekly to all children under 14 years old in 5 villages, and (ii) therapy (10 mg chloroquine / Kg body weight) was given in a single dose to all febrile cases in 7 other villages. Chloroquine tablets were distributed by health workers belonging to the community.

*Both prophylaxis and therapy reduced the gametocytic rate in children (2-9 years) respectively of 63% and 45%. The analysis of the evolution after the first year of the sporozoitic rate of anopheline was made difficult by concomittant natural variations of mosquitoes longevity and by mosquitoes displacements. Significant variations of sporozoitic rate can be explained by natural variations of mosquitoes longevity. But data from the rice field villages support evidence that reduction of the pool of parasite infective for vectors induced the decrease of *Anopheles gambiae* s.l. sporozoitic rate. Therefore our results reflect a trend more than a strict reduction of malaria transmission.*

Key-words: Malaria, Chloroquine, Transmission.

Introduction

Un programme d'évaluation de deux stratégies médicamenteuses de lutte anti-paludique par la chloroquine s'est déroulé pendant trois ans dans une région rurale près de Bobo-Dioulasso dans le sud-ouest du Burkina Faso. La première année d'étude (1980) a permis le recueil des données de prétraitement dans 12 villages: 5 en savane classique et 7 dans un périmètre rizicole aménagé une dizaine d'années auparavant dans la vallée du Kou. Les deux années suivantes (1981 et 1982) les enfants de moins de 14 ans de 2 villages de savane et de 3 villages de rizière ont reçu une prophylaxie par la chloroquine à la dose hebdomadaire de 10 mg / Kg de poids corporel; dans les 3 autres villages de savane et les 4 autres villages de rizière chaque accès fébrile a fait systématiquement l'objet d'un traitement par ce même médicament à la dose unique de 10 mg / Kg de poids corporel. Dans chacun des cas les comprimés de chloroquine ont été distribués par des agents de santé volontaires choisis parmi les villageois par l'ensemble de la communauté.

Aucune mesure antivectorielle n'a été intégrée dans ce programme ni aucune mesure coercitive n'a été prise à l'encontre de villageois inintéressés par cette étude.

Il a été estimé que la chimioprophylaxie a touché 80% de la population cible en rizière et 60% en savane; la thérapie a été effectuée en moyenne 2 fois par personne et par année de traitement (Baudon *et al.*, 1984).

Certaines des conclusions de cette étude ont déjà été exposées, en particulier les résultats parasitologiques, les résultats sérologiques et les réflexions sur la stratégie anti-paludique qui en découlent (Baudon *et al.*, 1986; Brandicourt *et al.*, 1987). Il reste à examiner la réduction de l'indice gamétocytaire et ses conséquences d'une part sur l'infectivité de la population humaine pour les vecteurs et d'autre part sur la transmission du paludisme. Dans une telle perspective on a considéré les variations de la proportion d'anophèles infectés et agressifs pour l'homme. On a aussi pris garde au facteur de confusion que constituent les variations de la longévité moyenne de ces populations de moustiques, sur lesquelles les variations des taux de parturité donnent une information.

Matériel et méthode

La transmission du paludisme dans cette région présentant un maximum pendant la saison pluvieuse et le début de la saison sèche (Hamon *et al.*, 1959) l'évaluation entomologique a été réalisée la première année avec 4 enquêtes par village entre Juin et Novembre et les seconde et troisième années avec 6 enquêtes par village et par an entre Mars et Novembre. Une enquête comporte deux nuits de capture de moustiques. Celles-ci sont effectuées entre 18h et 06h par 6 hommes "captureurs". Les anophèles vecteurs ont été disséqués juste après la capture pour le calcul des indices sporozoïtiques (nombre de moustiques avec des sporozoïtes dans les glandes salivaires / nombre de moustiques disséqués) et des taux de parturité (nombre de moustiques pares / nombre de moustiques pares plus nullipares).

Résultats et discussion

Un total de 2 304 hommes-nuits a permis de capturer 87 477 anophèles dont 47 924 ont été disséqués et 515 ont été trouvés avec des sporozoïtes dans les glandes salivaires. La transmission du paludisme se déroulant selon des modalités différentes dans ces zones de savane et de rizière (Robert *et al.*, 1984) les résultats seront présentés séparément; ils se limiteront aux vecteurs majeurs *Anopheles gambiae* s.l. et *A. funestus*.

- En zone de savane sous traitements des accès fébriles, entre l'année témoin et les deux années suivantes, l'indice gamétocytaire chez l'homme a diminué de 48%. Pendant la même période, l'indice sporozoïtique d'*A. gambiae* a augmenté de 52% et celui d'*A. funestus* de 15% tandis que le taux de parturité augmentait de 23% pour *A. gambiae* et de 8% pour *A. funestus* témoignant d'une amélioration de la survie des anophèles

(tableau I). Si la chloroquine, en réduisant les indices gamétocytiques, a eu un effet réducteur sur la transmission, cet effet a été masqué par des conditions favorables aux anophèles et indépendantes de l'expérimentation. Ces conditions peuvent expliquer à elles seules l'augmentation observée des indices sporozoïtiques; aussi dans cette zone on ne peut pas conclure quant aux conséquences du traitement des accès fébriles par la chloroquine sur la transmission.

- En zone de savane sous prophylaxie, entre l'année témoin et les deux années suivantes, l'indice gamétocytique chez l'homme a diminué de 62%. Pendant la même période l'indice sporozoïtique d'*A.gambiae* a diminué de 52% et celui d'*A.funestus* de 21%. Une évolution aussi importante de cet indice est difficilement explicable par celle du taux de parturité qui a peu diminué et de façon non significative chez les deux espèces (tableau I). Dans cette zone la réduction des indices sporozoïtiques pourrait être liée à la prophylaxie par la chloroquine.

- En région de rizières des déplacements de moustiques entre les différents villages étudiés ne permettent pas d'exposer séparément les résultats de la zone sous thérapie et de ceux de la zone sous prophylaxie. Dans ces deux zones, entre l'année témoin et les deux années suivantes, l'indice gamétocytique a diminué de 42% dans la zone sous thérapie et de 65% dans la zone sous prophylaxie. Pendant la même période l'indice sporozoïtique d'*A.gambiae* a significativement diminué de 38% dans les villages de la région de rizière. Il est exclu que ces réductions aient été liées à une plus faible longévité moyenne de cette espèce car le taux de parturité augmente significativement de 9% dans cette région (tableau II). Aussi la réduction des indices sporozoïtiques d'*A.gambiae* est liée à la baisse des indices gamétocytiques.

Conclusions

Quoique la chloroquine n'affecte pas le pouvoir infectant du gamétocyte (Wilkinson *et al.*, 1976) elle affecte clairement la gamétocytogenèse (Smalley, 1977) et, utilisée collectivement en thérapie ou en prophylaxie, elle diminue l'indice gamétocytique. Cela équivaut à une réduction quantitative du "réservoir de virus" infectant pour les moustiques.

Cette présente étude apporte des arguments en faveur d'une tendance plutôt que d'une stricte corrélation entre la consommation de chloroquine, la réduction du "réservoir de virus" infectant pour les vecteurs et la réduction, en moindre proportion, des indices sporozoïtiques des vecteurs. Toutefois cette baisse de la transmission est certainement trop faible pour entraîner, à elle seule, d'appréciables répercussions sanitaires pour la population des zones d'endémie moyenne ou forte.

Bibliographie

BAUDON (D.), ROUX (J.), CARNEVALE (P.), VAUGELADE (J.), BOUDIN (C.), CHAISE (J.), REY (J.-L.), MEYRAN (M.B.) & BRANDICOURT (O.).- Etude de deux stratégies de contrôle des paludismes, la chimiothérapie systématique des accès fébriles et la chimioprophylaxie hebdomadaire dans douze villages de Haute-Volta, en zones de savane et de rizière de 1980 à 1982; évaluations paludométrique, immunologique, démographique et étude de la faisabilité; résultats de la troisième année d'étude et évaluation finale. *DOC. TECH. O.C.C.G.E.*, 1984, n° 8 450 / 84

BAUDON (D.), ROUX (J.), CARNEVALE (P.), REY (J.-L.), MEYRAN (M.B.) & BRANDICOURT (O.).- Systematic chemotherapy of febrile cases: a substitute strategy for malaria control in rural areas of Africa. *Trans. R. Soc. trop. Med. Hyg.*, 1986, 80: 164.

BRANDICOURT (O.), CARNEVALE (P.), BAUDON (D.), MOLEZ (J.-F.), GAZIN (P.), DANIS (M.), DUFLO (B.) & GENTILINI (M.).- Influence de la chimioprophylaxie ou de la chimiothérapie par la chloroquine sur l'acquisition des anticorps fluorescents antipalustres en zone de savane. *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, 1987, 67: 17-22.

HAMON (J.), CHOUMARA (R.), RICOSSE (J.), BAILLY (H.) & ADAM (D.).- Le paludisme dans la zone pilote de Bobo-Dioulasso, Haute-Volta. *Cahiers de l'O.R.S.T.O.M.*, 1959, n°1.

ROBERT (V.), GAZIN (P.), BOUDIN (C.), MOLEZ (J.-F.), OUEDRAOGO (V.) & CARNEVALE (P.).- La transmission du paludisme en zone de savane arborée et en zone rizicole des environs de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, 1985, 65, Suppl.2: 201-214.

SMALLEY (M.E.).- *Plasmodium falciparum* gametocytes: the effect of chloroquine on their development. *Trans. R. Soc. trop. Med. Hyg.*, 1977, 71: 526-529.

WILKINSON (R.N.), NOEYPATIMANONDH (S.) & GOULD (D.J.).- Infectivity of *falciparum* malaria patients for mosquitoes before and after chloroquine treatment. *Trans. R. Soc. trop. Med. Hyg.*, 1976, 70: 306-307.

	Villages sous chimiothérapie systématique des accès fébriles					Villages sous chimioprophylaxie				
	Enfants 2-9 ans IG	<i>Anopheles gambiae</i>		<i>Anopheles funestus</i>		Enfants 2-9 ans IG	<i>Anopheles gambiae</i>		<i>Anopheles funestus</i>	
		IS	TP	IS	TP		IS	TP	IS	TP
ANNEE TEMOIN 1980	$\frac{53}{457}$ 11,6%	$\frac{28}{739}$ 3,8%	$\frac{186}{311}$ 59,8%	$\frac{22}{1029}$ 2,1%	$\frac{313}{463}$ 67,6%	$\frac{40}{360}$ 11,1%	$\frac{36}{782}$ 4,6%	$\frac{213}{323}$ 65,9%	$\frac{27}{1106}$ 2,5%	$\frac{389}{489}$ 79,6%
ANNEES AVEC CHLOROQUINISATION 1981 et 1982	$\frac{62}{1032}$ 6,0%	$\frac{85}{1468}$ 5,8%	$\frac{959}{1300}$ 73,8%	$\frac{40}{1625}$ 2,4%	$\frac{1121}{1512}$ 74,1%	$\frac{35}{825}$ 4,2%	$\frac{60}{2749}$ 2,2%	$\frac{1458}{2382}$ 61,2%	$\frac{33}{1722}$ 1,9%	$\frac{1191}{1570}$ 75,9%
COMPARAISON: 1981+1982/1980	-48%	+52%	+23%	+15%	+8%	-62%	-52%	-7%	-21%	-4%
Test statistique	p<0,001	p<0,05	p<0,001	p>0,05 N.S.	p<0,001	p<0,001	p<0,001	p>0,05 N.S.	p>0,05 N.S.	p>0,05 N.S.

Tableau I: Evolution dans cinq villages de savane de la région de Bobo-Dioulasso (Burkina Faso) de l'indice gamétocytaire (IG), de l'indice sporozoïtique (s) et du taux de parturité (TP) en fonction de deux thérapeutiques par la chloroquine expérimentées en 1981 et 1982 après l'année 1980 de recueil des données de prétraitement.

	Villages sous chimiothérapie systématique des accès fébriles	Villages sous chimioprophylaxie	Total des villages sous chimiothérapie et chimioprophylaxie			
	IG des enfants de 2-9 ans		<i>Anopheles gambiae</i>		<i>Anopheles funestus</i>	
			IS	TP	IS	TP
ANNEE TEMOIN 1980	$\frac{58}{845}$ 6,9%	$\frac{43}{704}$ 6,1%	$\frac{47}{9135}$ 5,15%	$\frac{1330}{3265}$ 40,7%	$\frac{7}{645}$ 1,08%	$\frac{185}{274}$ 67,5%
ANNEES AVEC CHLOROQUINISATION 1981 et 1982	$\frac{70}{1750}$ 4%	$\frac{28}{1297}$ 2,2%	$\frac{73}{23035}$ 3,17%	$\frac{8381}{18949}$ 44,2%	$\frac{22}{1904}$ 1,15%	$\frac{1230}{1717}$ 71,6%
COMPARAISON : 1981+1982/1980	-42%	-65%	-38%	+9%	+7%	+6%
Test statistique	p<0,01	p<0,0001	p<0,01	p<0,0001	p>0,05 N.S.	p>0,05 N.S.

Tableau II: Evolution dans sept villages de rizière de la région de Bobo-Dioulasso (Burkina Faso) de l'indice gamétocytaire (IG), de l'indice sporozoïtique (s) et du taux de parturité (TP) en fonction de deux thérapeutiques par la chloroquine expérimentées en 1981 et 1982 après l'année 1980 de recueil des données de prétraitement.

PROTECTION CONTRE LE PALUDISME AUJOURD'HUI

Le cas des résidents non immuns

Les personnes originaires de régions sans paludisme ne présentent aucune immunité vis-à-vis de cette affection et constituent des groupes à haut risque lorsqu'elles pénètrent dans des zones où sévit une transmission du parasite (cf. ORSTOM ACTUALITÉS N° 20). Sont concernés par cette menace non seulement les sujets venant des "pays du Nord" mais les ressortissants des pays tropicaux en provenance de régions sans paludisme comme les hauts plateaux andins ou africains, certaines villes. De plus les habitants des zones endémiques qui font de longs séjours dans les contrées où la maladie est absente comme l'Europe, perdent leur immunité et sont à nouveau exposés lors de leur retour. Tous ces sujets doivent donc prendre des mesures préventives sous peine de présenter des accès graves, éventuellement mortels, en l'absence de traitement rapide. Ceci ne signifie en rien que les populations originaires et vivant en zone d'endémie ne souffrent pas du paludisme ; les jeunes enfants sont notamment très exposés pendant qu'ils construisent leur immunité. Ils doivent donc bénéficier de mesures de protection (Charmot *et al*, 1988) mais celles-ci s'inscrivent en général dans les actions nationales de santé publique. Néanmoins les mesures de protection individuelles, notamment contre les vecteurs, ne peuvent que leur être recommandées.

Jusqu'ici cette protection a été assurée par des médicaments : la quinine avant la deuxième guerre mondiale et dans les trente dernières années, les amino-4-quinoléine, chloroquine (Nivaquine®) et amodiaquine (Flavoquine®). La protection contre les insectes piqueurs à l'aide de moustiquaires, de répulsifs ou d'insecticides répondait plus à un besoin de confort qu'à un souci prophylactique. Le développement de polyrésistances des parasites du paludisme est en train de modifier une situation bien établie. Certes les amino-4-quinoléines assurent encore une protection très efficace dans la majeure partie de l'Afrique de l'Ouest mais au Bénin, en Afrique Centrale et de l'Est, en Asie du Sud-Est et en Amérique Latine on a déjà détecté de très nombreux cas de résistance. Celle-ci s'étend géographiquement et s'adresse à un spectre de plus en plus large de produits. Ces faits

nouveaux vont exiger un changement d'attitude des sujets non immuns pour assurer leur protection. En effet, si la chloroquine (Nivaquine®) est un produit peu toxique qui peut être absorbé pendant de longues périodes il n'en est pas de même des produits de substitution (Fansidar® et Lariam®) dont les effets secondaires interdisent l'emploi prolongé et qui doivent être réservés pour les traitements curatifs.

PAS DE SÉCURITÉ ABSOLUE

Face à ce constat, il devient plus que jamais nécessaire d'insister sur la protection contre les vecteurs qui constitue actuellement la seule attitude préventive pendant une longue période dans les zones de chloroquine-résistance. Les moyens de protection sont nombreux ; aucun, employé seul, n'apporte de sécurité absolue mais ils permettent ensemble de réduire les risques d'infec-

tion dans la quasi totalité des situations. Ce risque peut même être supprimé pour la plupart de ceux qui séjournent surtout dans les zones à faible risque d'impaludation. De plus, les mesures préconisées réduisent aussi la nuisance due aux moustiques et protègent contre les nombreuses autres maladies qu'ils transmettent.

Il est peut-être utile de faire quelques rappels avant de passer en revue les moyens permettant de réduire les contacts entre l'homme et les vecteurs de paludisme :

- à l'exception des très rares contaminations transfusionnelles, l'infection palustre est toujours occasionnée par la piqûre d'un moustique infecté du genre *Anopheles* (lui-même s'étant auparavant infecté sur un homme impaludé, cf. ORSTOM Actualités n° 20, janvier-février 1988) ;

- les *Anopheles* ne piquent que la nuit, pendant toute la nuit et avec un maximum d'agressivité vers la mi-nuit ;

- une seule piqûre infectante suffit pour déclencher, quelques jours plus tard, un accès palustre éventuellement mortel chez un sujet non immun, non protégé ;

- la transmission du paludisme est quantitativement très variable et dépend des conditions écologiques et géographiques locales. Par exemple en Afrique inter-tropicale un homme ne prenant aucune mesure préventive contre les piqûres de moustique reçoit, dans un village de forêt d'Afrique Centrale, trois piqûres infectées par nuit pendant toute l'année, dans une ville d'Afrique, une piqûre infectée par an. Il y a aussi de vastes régions sans paludisme en régions

tropicales, notamment dans les villes en Amérique du Sud et en Asie sauf en Inde où la maladie est souvent urbaine. Devant l'hétérogénéité des situations il est donc conseillé de s'informer.

Les moyens de protection individuelle contre les piqûres d'anophèles peuvent se diviser en deux catégories :

1) Les protections efficaces :

- l'amélioration de l'habitat avec la pose de grillage moustiquaire aux fenêtres et aux portes, qui doit être très soigneusement entretenu ;

- les plaquettes insecticides chauffées par une résistance électrique. Elles sont utilisables partout où l'électricité est disponible et efficace une dizaine d'heures, soit la durée de la nuit ; elles libèrent des insecticides non toxiques, les bioalléthrinés qui se subliment à 120° ;

- les tortillons fumigènes ; sans courant d'air ils se consomment en six à huit heures en libérant les mêmes insecticides, leur usage est recommandé en extérieur mais ils s'y consomment plus vite ;

- les bombes insecticides ; elles servent à s'assurer de la destruction des moustiques dans une pièce close, mais ne protègent pas toute la nuit ;

- les répulsifs ; ils ont une durée active de quelques heures, toujours inférieure à six heures, et constituent une protection d'appoint appréciable à la tombée du soir avant d'aller se coucher ;

- la moustiquaire de lit. On peut considérablement améliorer ses performances grâce à une imprégnation d'insecticide tel que la deltaméthrine à 25 mg de matière active par m² de

... ET CONTRE
LES CROCODILES,
VOUS AVEZ QUOI ?



tissu ou la perméthrine à 200 mg/m² ; sa durée d'activité est d'au moins un an ; on peut utiliser les concentrés de K-Othrine® ou de Décis® ; la moustiquaire imprégnée constitue actuellement une des meilleures protections. On peut imprégner soi-même sa moustiquaire en la trempant dans une dilution de K-Othrine® ou de Décis® dans 250 à 500 ml d'eau suivant la taille de la moustiquaire qui varie de 10 à 20 m² ; on laisse sécher à l'ombre pendant 24 heures. Tout contact de l'insecticide, même dilué, avec la peau ou les muqueuses doit être évité pendant la manipulation ; par contre aucune précaution n'est à prendre une fois que la moustiquaire a séché.

2) Les protections en fait inefficaces :

- la climatisation ;
- la moustiquaire trouée ou mal fermée ;
- les appareils émettant des sons ou ultrasons censés faire fuir les moustiques femelles ;
- la vitamine B1 per os, à forte dose, dont l'élimination dans la sueur aurait un effet répulsif.

La protection contre les piqûres d'anophèles demande l'emploi simultané ou successif de plusieurs méthodes. Employées avec motivation, application et assiduité elles procurent

une protection antipaludique excellente en particulier en zone urbaine.

CONSEILS PRATIQUES

La protection médicamenteuse contre le paludisme pose un problème délicat du fait de l'apparition et de l'extension des souches de parasites résistantes aux médicaments usuels. L'attitude sera différente selon la durée du séjour en zone impaludée et sa localisation géographique. Dans les zones de paludisme à *P. falciparum* le choix du médicament dépend avant tout de l'existence ou non de chimio-résistances dans le pays de séjour, notion qui doit être constamment actualisée et sur laquelle on peut obtenir des renseignements soit sur place, soit auprès de l'Institut de médecine et d'épidémiologie africaine, Hôpital Claude Bernard (Paris) ou A.P. Voyages à l'hôpital Pitié-Salpêtrière qui répond par téléphone (45.85.90.21).

En cas de séjour de courte durée, moins de 2 mois, le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (CSHPF), a donné les recommandations suivantes en matière de prévention :

- 1 - zone de résistance absente : chloroquine (Nivaquine®) 100 mg chaque jour (1,5 mg/kg) ;
- 2 - zone de résistance rare

ou modérée : chloroquine 100 mg/j (1,5 mg/kg) ou proguanil (Paludrine®), 200 mg/j (3 mg/kg). Les anglosaxons recommandent l'utilisation conjointe de ces deux produits :

3 - zone de résistance fréquente et multiple : méfloquine (Lariam®) 250 mg/semaine (4 mg/kg).

La méfloquine (Lariam®) est contre-indiquée, par prudence, chez la femme enceinte et chez l'enfant de moins de 15 kg, on la remplacera par le proguanil associé de préférence à la chloroquine.

En cas de séjour de longue durée, la prise prolongée d'un médicament pose problème et doit être discutée avec un médecin. Seuls le proguanil et la chloroquine sont suffisamment bien tolérés pour être pris régulièrement pendant plusieurs années. Les cas de rétinopathies à la chloroquine sont rares mais le risque existe à partir d'une prise cumulée de l'ordre de 100 g de dose totale (soit trois ans de prophylaxie pour un adulte).

En cas de chloroquinorésistance, il n'existe pas de recommandations du CSHPF. En accord avec l'Organisation Mondiale de la Santé, nous ne recommandons pas dans ce cas de chimio-prophylaxie systématique, mais plutôt le traitement présomptif de tout accès. L'attitude la plus sage est de consulter d'urgence un médecin en cas de fièvre. Si cela est impossible, il ne faudra pas hésiter à avoir recours à un auto-traitement dont on se sera fait préalablement expliquer en détail le protocole. La méfloquine est certainement un des médicaments les plus efficaces, les plus simples d'utilisation et les mieux tolérés. Le Fansidar® est certes encore très efficace et simple d'utilisation mais plus dangereux. La quinine est le médicament encore le plus efficace, surtout associée à une

cycline, dont l'utilisation par voie orale, peu connue en France, est largement sous employée peut-être en raison de sa durée d'action très courte et qui nécessite de nombreuses prises quotidiennes. En cas de vomissements, il faudra avoir recours à la quinine par voie intra-musculaire.

En l'absence de chloroquinorésistance, la prophylaxie par la chloroquine à la dose de 100 mg reste indiquée. Elle est bien tolérée par les femmes enceintes et les enfants de moins de 2 ans, en l'absence bien sûr de contre-indication particulière.

En conclusion, la généralisation des résistances du parasite marque un terme à la panacée de la protection médicamenteuse contre le paludisme et en particulier par la chloroquine. Certains organismes ont déjà modifié la protection de leur personnel expatrié. C'est ainsi que Swissair recommande à ses employés naviguants de cesser toute prophylaxie dans beaucoup de pays et de garder par devers eux un traitement curatif de Lariam®, pour un auto-traitement en cas d'accès dans des régions où il n'y a pas de structure médicale. Les agents en poste outre-mer, pour des séjours de longue durée, doivent se préoccuper en priorité, de protection anti-moustiques, qui est à ce jour la meilleure prophylaxie. Néanmoins on ne peut assurer que la protection sera totale et en cas de suspicion d'accès palustre il faut s'adresser à un praticien ou procéder soi-même à une automédication curative "en poche" si aucune structure sanitaire fiable n'est accessible.

Vincent ROBERT,
Alain RICHARD
et Jean MOUCHET,
Entomologistes médicaux
et médecin parasitologue
Orstom

Bibliographie

Charmot G., Mouchet J. et Coulaud J.-P. - Prévention du Paludisme - Revue du Praticien, 38, 1988 : 1180-1185.

LA TRANSMISSION DU PALUDISME HUMAIN: la zone des savanes d'Afrique de l'Ouest

Dans les zones rurales traditionnelles d'Afrique de l'Ouest la transmission du paludisme humain est observée pendant huit mois consécutifs, de juin à janvier. Elle est effectuée essentiellement par *Anopheles gambiae* et *A. funestus*. Ces deux espèces sont rencontrées toute l'année. *A. gambiae* a un rôle vecteur prépondérant pendant la saison pluvieuse et *A. funestus* pendant la fin de la saison pluvieuse et au début de la saison sèche.

Le complexe *A. gambiae* est formé de deux espèces au Burkina Faso: *A. gambiae* et *A. arabiensis* qui sont observés sur la totalité du territoire. *A. gambiae* est partout majoritaire, au moins pour la fraction endophile du complexe. *A. arabiensis* est formé d'une seule population. Par contre *A. gambiae* regroupe deux populations sympatriques partiellement isolées sur le plan reproductif; ces populations correspondent aux formes chromosomiques Savane et Mopti.

L'intensité de la transmission varie dans les différents villages étudiés entre 50 et 250 piqûres d'anophèles infectés par homme et par an; elle dépend surtout de la densité des vecteurs.

En zone rizière *A. gambiae* assure la totalité de la transmission selon un rythme bimodal, en dehors de la période où la densité de vecteurs est maximale. L'intensité de la transmission est plus faible qu'en zone rurale traditionnelle malgré une considérable densité d'anophèles vecteurs. *A. funestus* est défavorisé en rizière, ses effectifs sont faibles.

En zone urbaine les vecteurs de paludisme sont peu nombreux. *A. gambiae* assure une très faible transmission qui est focalisée par quartiers et qui est d'autant plus faible que le quartier est plus urbanisé.

Les moustiquaires imprégnées de pyréthrinoïdes constituent un nouvel outil à la disposition des hygiénistes. Elles apportent un réel progrès par rapport aux moustiquaires non traitées. Elles constituent aussi une nouvelle arme dans la lutte contre les vecteurs quand elles sont employées par l'ensemble de la collectivité. Une expérimentation menée avec la participation de la totalité de la population d'un village a permis de réduire la transmission de plus de 90%.

Le paludisme est une composante de l'environnement africain. L'intensité élevée de sa transmission rend difficile une lutte parfaitement efficace contre les vecteurs.

La réduction de la transmission entraîne une réduction de l'incidence pathologique du paludisme et apporte donc un appréciable bénéfice sanitaire.

Mots-clés: paludisme, transmission, anophèle, Afrique intertropicale, complexe *Anopheles gambiae*, savane, rizière, ville, moustiquaire imprégnée d'insecticide, lutte contre le paludisme.

Table des matières

Sommaire détaillé	5
Résumé (4 pages)	9
Summary	13
 <u>Première partie: Note de présentation</u>	 15
<i>Introduction</i>	16
1°) <i>Les relations vecteurs-parasites</i>	18
2°) <i>La transmission, un paramètre épidémiologique majeur</i>	31
3°) <i>La transmission, cible de la lutte contre le paludisme</i>	44
<i>Conclusion</i>	55
Références bibliographiques	57
 <u>Deuxième partie: Sélection de 24 publications</u>	 73
1°) <i>Vecteurs de la zone des savanes ouest-africaines</i>	74
2°) <i>Relations vecteurs-parasites</i>	141
3°) <i>Approche quantitative de la transmission</i>	165
4°) <i>Réduire la transmission</i>	254
 Résumé (1page)	 323